

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Departamento de Estomatología II. Odontología Conservadora



**SISTEMA DE RAZONAMIENTO BASADO EN CASOS Y
ANÁLISIS ESTADÍSTICO INFERENCIAL EN LA
PREDICCIÓN DE FRACASOS DE RESTAURACIONES
DE RESINA COMPUESTA EN SECTOR POSTERIOR.**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Ignacio Aliaga Vera

Bajo la dirección de los doctores,

Prof. Dr. Vicente Vera González

Prof. Dr. Alvaro Enrique García Barbero

Prof. Dr. Juan Francisco de Paz Santana

Madrid 2014

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Departamento de Estomatología II. Odontología Conservadora



**SISTEMA DE RAZONAMIENTO BASADO EN CASOS Y
ANÁLISIS ESTADÍSTICO INFERENCIAL EN LA
PREDICCIÓN DE FRACASOS DE RESTAURACIONES
DE RESINA COMPUESTA EN SECTOR POSTERIOR.**

MEMORIA

Que para la obtención del Grado de Doctor en Odontología,

presenta

Don Ignacio Aliaga Vera

Licenciado en Odontología

Madrid 2014

En el presente trabajo de investigación con el propósito de optar al Doctorado Europeo, se realizó una estancia de tres meses en la Universidade do Minho. Escola de Engenharia. Departamento de Informática. Braga. Portugal. Desde el 24 de Junio del 2013 al 11 de Octubre del 2013, en la que se desarrolló una línea de investigación sobre la aplicación del Sistema de Razonamiento Basados en Casos (CBR) en la predicción de fracasos de restauraciones de resina compuesta en el sector posterior. Dicho estudio se efectuó bajo la dirección del profesor Dr. Cesar Anelide Rodrigues.

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Departamento de Estomatología II. Odontología Conservadora



**SISTEMA DE RAZONAMIENTO BASADO EN CASOS Y
ANÁLISIS ESTADÍSTICO INFERENCIAL EN LA
PREDICCIÓN DE FRACASOS DE RESTAURACIONES
DE RESINA COMPUESTA EN SECTOR POSTERIOR.**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Ignacio Aliaga Vera

Bajo la dirección de los doctores,

Prof. Dr. Vicente Vera González

Prof. Dr. Alvaro Enrique García Barbero

Prof. Dr. Juan Francisco de Paz Santana

Madrid 2014

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

Departamento de Estomatología II. Odontología Conservadora.

UNIVERSIDADE DO MINHO

Facultad de Informática. Escola de Engenharia.



**THE USE OF CASE BASED-REASONING SYSTEM AND
INFERENTIAL STATISTICAL ANALYSIS IN THE
PREDICTION OF RESIN RESTAURATIONS FAILURE IN
THE POSTERIOR TEETH**

Ignacio Aliaga Vera

DIRECTORS:

Prof. Dr. Vicente Vera González

Prof. Dr. Alvaro Enrique García Barbero

Prof. Dr. Juan Francisco de Paz Santana

SUPERVISED BY:

Prof. Dr. Cesar Anelide Rodrigues

Madrid 2014

CEIC Hospital Clínico San Carlos

Dra. Mar García Arenillas
Secretaria del CEIC Hospital Clínico San Carlos

CERTIFICA

Que el CEIC Hospital Clínico San Carlos en su reunión del día 18/06/2014, acta 6.2/14 ha evaluado la propuesta del promotor/investigador referida al estudio:

Título: "Sistema de razonamiento basado en casos y análisis estadístico inferencial en la predicción de fracasos de restauraciones de resina compuesta en sector posterior"

Que en este estudio:

- Se cumplen los requisitos necesarios de idoneidad del protocolo en relación con los objetivos del estudio y están justificados los riesgos y molestias previsibles para el sujeto.
- Es adecuado el procedimiento para obtener el consentimiento informado.
- La capacidad del investigador y los medios disponibles son adecuados para llevar a cabo el estudio.
- El alcance de las compensaciones económicas previstas no interfiere con el respeto de los postulados éticos.
- Se cumplen los preceptos éticos formulados en la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica mundial sobre principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos y en sus posteriores revisiones, así como aquellos exigidos por la normativa legal aplicable en función de las características del estudio.

Es por ello que el Comité **informa favorablemente** sobre la realización de dicho proyecto por D. **Ignacio Aliaga Vera** como investigador principal en la Facultad de Odontología de la Universidad Complutense de Madrid.

Lo que firmo en Madrid, a 19 de junio de 2014



Dra. Mar García Arenillas
Secretaria del CEIC Hospital Clínico San Carlos

AGRADECIMIENTOS

Mi primer agradecimiento está dirigido a las tres personas sin cuya supervisión este trabajo no habría sido posible:

El **Prof. Vicente Vera González**, por haberme abierto las puertas del mundo de la Odontología en todos sus campos, sobre todo en el área de la Docencia y la investigación. Gracias por tu tiempo, tu esfuerzo y tus consejos.

El **Prof. Álvaro Enrique García Barbero**, que siempre ha estado dispuesto a orientarme y que me ha motivado para continuar con la realización de este trabajo. Su apoyo incondicional ha sido fundamental para que este proyecto haya visto la luz. Gracias por haber guiado éste trabajo y haber esclarecido todas las dudas que surgían durante el proceso.

El **Dr. Juan Francisco de Paz Santana**, por la confianza que depositó en mí para la realización de ésta Tesis; por sus ideas y aportaciones, que han resultado primordiales y muy valiosas.

En segundo lugar no puedo olvidarme del **Dr. Cesar Anelide Rodrigues** no sólo por haberme acogido en la Escola de Engenharia en la Universidad do Minho, Braga; si no por haberme enseñado todo aquello que estaba a su alcance. Su esfuerzo y dedicación me permitieron desarrollar éste trabajo en un periodo de tiempo limitado. Thank you. Obrigado.

A la **Dra. Cristina Fernández**, en la unidad de apoyo a la investigación de Medicina Preventiva del Hospital Clínico San Carlos, Madrid, por su colaboración incondicional en todo momento, en especial en la ardua tarea del análisis estadístico de los datos que aquí se presentan. También agradecer al **Dr. Jesus Moreno Sierra** por su apoyo y consejo durante todo el tiempo de realización de este trabajo.

A continuación no puedo dejar de agradecer la ayuda que me han prestado desde el **Departamento de Odontología Conservadora de la UCM**. Al Catedrático del departamento **Dr. Javier García Barbero**, porque nadie mejor que él para comprender lo perfeccionista que uno puede llegar a ser. Gracias a todos los colaboradores y profesores por vuestra desinteresada ayuda.

También me gustaría agradecer la acogida, el apoyo y los medios recibidos en el **Departamento de Automática e Informática de la Universidad de Salamanca**, dónde he desarrollado gran parte de éste trabajo. Gracias al Decano de la Facultad de Informática el **Dr. Juan Manuel Corchado**, ésta Tesis se ha beneficiado de su alta profesionalidad, excelentes consejos y revisiones, por lo que siempre le estaré agradecido

Por supuesto, que este trabajo no habría sido posible sin la participación de todos los estudiantes de 4º Curso del Grado de Odontología en la asignatura de Patología y Terapéutica Dental II y a los pacientes, que voluntariamente nos ofrecieron su tiempo y la oportunidad de avanzar en el conocimiento. Muchas gracias a todos.

No puedo quedarme sin nombrar a **mi familia** que ha estado ahí, apoyándome, sufriendo por mí, pero disfrutando de cada uno de mis logros. Son lo mejor que tengo y por ello, mi más sincero agradecimiento desde lo más profundo de mi corazón. Gracias **Joaquín, Marisa, Mar, Marita**.

Por último a las personas más especiales de mi vida, gracias por acompañarme en estos años de trabajo duro y sacrificio, no hay palabras suficientes para agradecerlos todo vuestro apoyo y amor, espero siempre corresponder a todo el cariño que me habéis demostrado, a mi hermano **Daniel**, mis primos **María y Vicente**, y a ti **Graciela**.

ÍNDICE



ÍNDICE

PARTE 1

SISTEMA DE RAZONAMIENTO BASADO EN CASOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO INFERENCIAL EN LA PREDICCIÓN DE FRACASOS DE RESTAURACIONES DE RESINA COMPUESTA EN SECTOR POSTERIOR.....	18
--	----

1 Planteamiento del problema y justificación	21
--	----

2 Introducción.....	25
---------------------	----

2.1 Resinas compuestas en el sector posterior.....	25
--	----

2.1.1 Composición de las resinas compuestas	28
---	----

2.1.2 Tipos de resinas compuestas	32
---	----

2.1.3 Propiedades de las resinas compuestas	33
---	----

2.1.4 Problemas de las resinas compuestas	36
---	----

2.2 Sistemas de Razonamiento Basado en Casos (CBR)	44
--	----

2.2.1 Estructura general del ciclo de vida de un sistema CBR.....	46
---	----

2.2.2 Tipos de sistemas CBR	52
-----------------------------------	----

2.2.3 Uso de CBR en bioinformática	53
--	----

2.2.4 Teoría de conjuntos aproximados	54
---	----

2.2.5 Reglas de decisión	55
--------------------------------	----

2.2.6 Árboles de decisión	56
---------------------------------	----

2.2.7 Redes Bayesianas.....	59
-----------------------------	----

2.2.8 Técnicas de clasificación	63
---------------------------------------	----

2.2.9 Conclusiones	67
--------------------------	----

2.3 Estadística inferencial.....	68
----------------------------------	----

2.4 Competencias de los estudiantes de Odontología	70
3 Hipótesis de trabajo y objetivos.....	74
4 Material y Método.....	77
4.1 Material	78
4.1.1 Revisión bibliográfica.....	78
4.1.2 Recursos humanos.....	78
4.1.3 Materiales clínicos	79
4.1.4 Material informático	79
4.1.5 Muestra del estudio	80
4.2 Metodología clínica odontológica	81
4.2.1 Exploración clínica.....	88
4.2.2 Exploración radiográfica	88
4.2.3 Tratamiento realizado por el estudiante	89
4.2.4 Revisión anual del estudio.....	93
4.3 Metodología del Sistema de Razonamiento Basado en Casos (CBR).....	94
4.3.1 Recuperación.....	95
4.3.2 Reutilización	96
4.3.3 Revisión.....	96
4.3.4 Retención.....	97
4.4 Metodología análisis estadístico inferencial	98
5 Resultados	101
5.1 Resultados aplicación CBR	101
5.1.1 Análisis visual de los datos.....	102
5.1.2 Análisis estadístico de dependencia	113

5.1.3 Modelo de predicción del CBR	120
5.2 Resultados estadística inferencial	137
6 Discusión	166
6.1 Del planteamiento	166
6.2 Del método	167
6.3 De los resultados	170

PARTE 2

THE USE OF CASE-BASED REASONING SYSTEM AND INFERENTIAL STATISTICAL ANALYSIS IN THE PREDICTION OF RESIN RESTAURATIONS FAILURE IN THE POSTERIOR TEETH	185
---	-----

7 Approach to the problem and justification	188
8 Materials and Methods	191
8.1 Materials	191
8.1.1 Literature review	191
8.1.2 Human resources	192
8.1.3 Clinical materials.....	192
8.1.4 Informatics materials.....	193
8.1.5 Sample of the study.....	193
8.2 Dentistry methodology	194
8.2.1 Clinical Exploration	195
8.2.2 X-ray exploration.....	195
8.2.3 Treatment performed by the undergraduate dental student	195
8.2.4 Annual revision	198

8.3 Case-based Reasoning System (CBR) methodology.....	198
8.3.1 Recuperation	199
8.3.2 Reuse	199
8.3.3 Revision.....	200
8.3.4 Retention	200
8.4 Inferential statistical analysis methodology.....	201
9 Results	204
9.1 Results of the application of the CBR.....	204
9.1.1 Analysis of variable dependency	205
9.1.2 CBR prediction model.....	207
9.2 Results of statistical inferential analysis	224
10 Discussion	240
11 Conclusiones.....	253
12 Bibliografía	257
13 Summary	266

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de dependencia de las variables	114
Tabla 2. Aciertos, porcentaje e índice Kappa para los diferentes clasificadores analizados en el CBR.....	120
Tabla 3. Área bajo la curva ROC en base a la predicción	123
Tabla 4. Área bajo la curva ROC en base a las probabilidades	125
Tabla 5. Probabilidad de fracaso para los diferentes clasificadores integrados en el CBR.....	127
Tabla 6. 5x2 Crossvalidation area under de roc curve sin filtrado	131
Tabla 7. 5x2 Crossvalidation area under de roc curve con filtrado.....	132
Tabla 8. Análisis de igualdad del área bajo la curva de ROC.....	133
Tabla 9. Área bajo la curva ROC en base a las probabilidades	134
Tabla 10. Área bajo la curva ROC en base a las probabilidades.....	136
Tabla 11. Descripción de los 81 estudiantes de 4º Odontología.....	137
Tabla 12. Descripción de los 81 pacientes tratados por los estudiantes de 4º Odontología.	138
Tabla 13. Descripción de los aspectos a considerar en la fase de anestesia del tratamiento inicial realizado en las piezas dentarias tratadas por los estudiantes de 4º Odontología.....	141
Tabla 14. Descripción de los aspectos a considerar en la fase de aislamiento del tratamiento inicial realizado en las piezas dentarias tratadas por los estudiantes de 4º Odontología.....	144
Tabla 15. Descripción de los aspectos a considerar en la fase de realización de la cavidad en el tratamiento inicial realizado en las piezas dentarias tratadas por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).	146
Tabla 16. Descripción de los aspectos a considerar en la fase de obturación la cavidad en el tratamiento inicial realizado en las piezas dentarias tratadas por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).	148
Tabla 17. Descripción de los factores del alumno y paciente asociados a la probabilidad de fracaso de la restauración al año realizadas por los estudiantes de 4º Odontología (n=81). ...	152

Tabla 18. Descripción de los factores de las fases de anestesia y aislamiento asociados a la probabilidad de fracaso de la restauración al año realizadas por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).	154
Tabla 19. Descripción de los factores de la fase de realización de la cavidad asociados a la probabilidad de fracaso de la restauración al año realizadas por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).	155
Tabla 20. Descripción de los factores de la fase de obturación de la cavidad asociados a la probabilidad de fracaso de la restauración al año realizadas por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).	156
Tabla 21. Modelo de regresión logística de los factores independientes asociados a la probabilidad de fracaso de las restauraciones al año realizadas por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).	161

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ciclo de vida de un CBR	48
Figura 2.	Árbol de decisión generado por CART	58
Figura 3.	Red Bayesiana	61
Figura 4.	Clasificación de Mount y Hume	90
Figura 5.	Número de casos por categoría en las variables estudiadas	112
Figura 6.	Gráfico de mosaico para la variable hábitos de cepillado y fracaso de la restauración.....	116
Figura 7.	Gráficos de mosaico para las variables dependientes con respecto al fracaso de las restauraciones de resina compuesta.....	119
Figura 8.	Curvas ROC en base a la predicción	122
Figura 9.	Curvas ROC en base a las probabilidades	124
Figura 10.	Curvas ROC en base a las probabilidades	135
Figura 11.	Distribución porcentual por sectores de la cavidad oral de las piezas dentarias tratadas por los estudiantes de 4º de Odontología (n=81).....	139
Figura 12.	Distribución del tiempo empleado en la fase de aislamiento de las piezas dentarias tratadas por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).....	145
Figura 13.	Distribución de frecuencia de contaminación de la pieza tratada con saliva, en la fase de aislamiento de las piezas dentarias tratadas por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).....	145
Figura 14.	Distribución de frecuencia de las puntuaciones obtenidas de forma global y en cada fase del tratamiento realizado por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).....	150
Figura 15.	Incidencia relativa de fracaso al año del tratamiento realizado por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).	151

Figura 16. Distribución de frecuencia de las puntuaciones obtenidas de forma global y en cada fase del tratamiento según el fracaso o el éxito del procedimiento realizado por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).	158
Figura 17. Curvas de rendimiento diagnóstico (ROC) de las puntuaciones obtenidas de forma global y en cada fase del tratamiento que expliquen el fracaso o el éxito del procedimiento realizado por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).	159
Figura 18. Curva de rendimiento diagnóstico (ROC) del modelo de regresión logística ajustado para explicar el fracaso al año del procedimiento realizado por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).	162
Figura 19. Probabilidad de fracaso ajustada por el modelo de regresión logística para explicar el fracaso al año del procedimiento realizado por los estudiantes de 4º Odontología según la edad del paciente y los hábitos higiénicos (n=81).	163
Figura 20. Probabilidad de fracaso ajustada por el modelo de regresión logística para explicar el fracaso al año del procedimiento realizado por los estudiantes de 4º Odontología según la edad del paciente y la incidencia de contaminación con saliva durante la fase de aislamiento (n=81).	164

PARTE 1

SISTEMA DE RAZONAMIENTO BASADO
EN CASOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO
INFERENCIAL EN LA PREDICCIÓN DE
FRACASOS DE RESTAURACIONES DE
RESINA COMPUESTA EN SECTOR
POSTERIOR

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN



1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Actualmente los composites son el material de elección para la obturación de cavidades en operatoria dental [1-17]. Mientras que en el sector anterior se usaban de modo sistemático desde hace muchos años, su incorporación al sector posterior ha sido más tardía, ya que ha requerido mejoras importantes en las propiedades físicas de los composites, que les permitieran soportar la mayor exigencia mecánica de éste sector [1-12, 15, 16, 18, 20-31].

Sin embargo, y pese a las mejoras experimentadas, las limitaciones que aún presentan estos materiales junto con la exigencia técnica que plantea su utilización, llevan a que en la actualidad se registre un elevado número de fracasos de este tipo de restauraciones, lo que constituye un importante desafío en el campo de la odontología restauradora [15,32].

Se entiende por fracaso cuando una restauración alcanza un grado de degradación, que impide su comportamiento adecuado, ya sea a nivel funcional, estético o en cuanto a su capacidad para prevenir una nueva enfermedad [31,32]. Son diversas las causas del fracaso de las restauraciones de composite en el sector posterior. Podemos asociar el fracaso a problemas derivados de la técnica (tamaño y diseño de la restauración, nivel de experiencia del clínico y ejecución adecuada de las diferentes fases clínicas del tratamiento), deficiencia de los materiales utilizados, y factores asociados al sujeto (hábitos de higiene, estado de la pieza dentaria, edad, posición y tamaño del diente) [15, 32]. Los fracasos en el sector posterior se manifiestan fundamentalmente en forma de caries secundaria, fracturas, pérdida del material restaurador, hipersensibilidad dentaria o dolor [1-6, 15, 32].

Investigaciones previas han demostrado que el tratamiento de restauraciones fracasadas supone del 50 al 78% de la actividad del Odontólogo en la práctica general en la actualidad [31]. El retratamiento supone un problema adicional ya que suele traer como consecuencia un aumento del

tamaño de la cavidad [1, 2, 15, 31, 32], lo que puede en ocasiones poner en peligro la integridad de la estructura dentaria remanente o de la pulpa [67-69].

El análisis de las causas o variables que inciden en la aparición de fracasos de este tipo de restauraciones es importante, ya que puede contribuir a la prevención de los mismos. Esto puede plantearse en diferentes ámbitos, fundamentalmente en el puramente asistencial, y en el docente. Nosotros hemos planteado el estudio dentro del ámbito docente, en particular dentro de la asignatura Patología y Terapéutica Dental II, ya que pensamos que puede contribuir a mejorar la enseñanza de la asignatura, permitiéndonos realizar un control directo del operador, en este caso el estudiante, lo que supone una observación más detallada de los procedimientos, y en definitiva, un seguimiento más completo de los casos. Además, nos aporta datos sobre la formación de los alumnos y la adecuación de la evaluación a los objetivos docentes, al permitirnos relacionar la nota del alumno con la aparición o no de fracasos en los tratamientos que ha realizado. Esto a su vez nos ayuda a relacionar la evaluación con la consecución de las competencias clínicas, fin último de la enseñanza en los actuales estudios de grado.

En este tipo de estudios es habitual el empleo de métodos estadísticos tradicionales, con el fin de correlacionar los fracasos con alguna de las posibles causas. La moderna Bioinformática supone un paso más al permitirnos predecir, con un alto porcentaje de éxito, los fracasos en función del análisis y tratamiento de determinadas variables. En particular, hemos decidido emplear El Sistema de Razonamiento Basado en Casos (CBR) y la estadística inferencial, por considerarlos los más adecuados para la consecución de nuestros objetivos. El CBR se ha utilizado en gran variedad de problemas médicos: como método de control en residencias sanitarias, en estudios sobre el hipotiroidismo, en pacientes hemodializados o diabéticos, como método diagnóstico del grado de estrés de los pacientes, o como método predictivo de evolución de cánceres o de leucemias; sin embargo, su uso en el desarrollo de modelos de razonamiento predictivo en el campo de la odontología todavía no ha sido explotado [33- 62]. La estadística inferencial, por otra parte, pensamos

que es el complemento adecuado para validar los resultados obtenidos por el CBR, haciendo uso de la regresión logística para predecir el fracaso [1, 63- 65].

Mediante la aplicación de las citadas herramientas bioinformáticas, CBR y estadística inferencial, consideramos que seremos capaces de analizar las causas que influyen en los fracasos y, lo que es más importante, predecir su aparición, lo que nos permitirá por un lado, mejorar la calidad de los tratamientos restauradores realizados en este caso por alumnos de Odontología, y por otro, mejorar la docencia y la evaluación de los alumnos en el citado ámbito universitario [66]. Por todo ello consideramos justificada la realización de este trabajo.

INTRODUCCIÓN



2 INTRODUCCIÓN

2.1 Resinas compuestas en el sector posterior

El uso de las resinas compuestas en el sector posterior es un hecho común en la práctica clínica diaria.

Actualmente la utilización de los composites en el sector posterior está generalizado y es el tratamiento de elección en nuestras clínicas. La incorporación en el sector posterior ha sido un proceso lento porque existía una controversia referente al uso por las propiedades físicas, mecánicas y la constante alternativa de las amalgama de plata por tener que superar a las propiedades que presenta la amalgama [1, 2, 67-71].

Por lo tanto, las mejoras en la composición del material, la minuciosidad y desarrollo de nuevas técnicas de colocación y la optimización de propiedades físicas y mecánicas, han hecho que la utilización en el sector posterior de la resina compuesta sea más fiable y predecible [3, 4].

Las resinas se empezaron a utilizar en el campo de la odontología conservadora para minimizar los defectos de las resinas acrílicas que habían reemplazado a los cementos de silicato. En 1955, Buonocore utilizó el ácido ortofosfórico para incrementar la adhesión de las resinas acrílicas a la superficie del esmalte [5]. En 1962, Bowen desarrolló el monómero del Bis-GMA, tratando de mejorar las propiedades físicas de las resinas acrílicas y formando polímeros de cadenas lineales [5]. En la primera generación de composites la polimerización era química y exigían mezclar la pasta base con el catalizador con los consiguientes problemas derivados de la proporción, meclado y estabilidad de color. Para evitar estos problemas en 1970 aparecieron las resinas compuestas polimerizadas por la luz visible (427-491 nm), actualmente en uso y desarrollo [5]. La evolución de los composites ha sido y es incesante, lo que obliga a una continua actualización.

Los composites han tomado un protagonismo indudable entre los materiales de obturación que se usan mediante técnicas directas. Sus grandes posibilidades estéticas le dan variadas indicaciones terapéuticas, que se incrementan gracias a la gran versatilidad de presentaciones que ofrecen; por otra parte, al tratarse de materiales cuya retención se obtiene por técnica adhesiva y no depende de un diseño cavitario, la preservación de la estructura dentaria es mayor, aunque todo esto no debe hacernos olvidar que son materiales muy sensibles a la técnica, por lo que la necesidad de controlar aspectos como: una correcta indicación, un buen aislamiento, la selección del composite adecuado a cada situación, el uso de un buen procedimiento de adhesión, y una correcta polimerización van a ser esenciales para obtener resultados clínicos satisfactorios [4, 5, 6].

Las resinas compuestas se van modificando para mejorar el color, translucidez y opacidad, y de esa forma imitar el color de los dientes naturales, haciendo de ellas el material más estético de restauración directa. Inicialmente, estos se indicaban solo para la restauración estética del sector anterior. Posteriormente y gracias a los avances de los materiales, la indicación se extendió también al sector posterior. Entre los avances de las resinas compuestas, se reconocen mejoras en sus propiedades tales como la resistencia al desgaste, manipulación y estética [6, 7, 71-77].

En Odontología, la estética es fundamental tanto por parte del paciente como por parte del odontólogo, ya que cualquier alteración en la apariencia estética del paciente puede provocar complicaciones psicológicas que pueden evolucionar hasta la más grande introversión [8].

El hecho de realizar restauraciones completamente imperceptibles, presenta una connotación social para el individuo. Los ojos y la boca, incluida la sonrisa, se han convertido en factores bastantes influyentes en la atracción facial y relación social. Particularmente el área de los dientes posteriores a menudo produce insatisfacción en los pacientes a nivel del color. Recordemos que la estética involucra emociones, sentimientos, y características de belleza. La estética dental es definida como la ciencia de copiar la belleza natural o el

arte de armonizar nuestro trabajo con la naturaleza, logrando resultados completamente inaparentes [5, 6, 7, 8, 9]. Así, personas con pobre estética dental se les atribuye una personalidad pobre, débil y desordenada, generando falta de confianza, y acarreándole consecuencias graves en el área social, educacional y laboral.

En los últimos años, ha habido un énfasis en los estudios a corto plazo para proporcionar una predicción temprana del rendimiento clínico a largo plazo de los materiales de resina compuesta en el sector posterior. Sin embargo, se necesitan estudios a largo plazo para identificar las posibles razones de estos fracasos, y comparar la vida útil prevista de las restauraciones de resina. Existe poca información disponible sobre los factores determinantes de rendimiento y las razones del fracaso de las restauraciones de composite [10, 11].

La filosofía de la Odontología restauradora ha cambiado durante las ultimas dos décadas, los principales factores que han llevado a este cambio son el declive drástico de la caries dental en los países industrializados y la disponibilidad de adhesivos a dentina fiables [11].

Las resinas compuestas híbridas usadas por los estudiantes de Odontología en la restauraciones que realizan en el sector posterior se denominan así por estar conformadas por grupos poliméricos (fase orgánica) reforzados por una fase inorgánica de vidrios de diferente composición y tamaño en un porcentaje de 60% ó mas del contenido total, con tamaños de partículas que oscilan entre 0,6 y 1 micras, incorporando sílice coloidal con tamaño de 0,04 micras. Corresponden a la gran mayoría de los materiales compuestos actualmente aplicados al campo de la Odontología [12,13].

La amalgama de plata presenta limitaciones como: la remoción innecesaria de tejido dental sano, transmisión de corrientes y pobre estética del sector. En países como Japón este material ha sido eliminado de la práctica odontológica por el riesgo de intoxicación acumulativa de mercurio. Aunque este hecho, es la eterna controversia en el uso del material [14].

2.1.1 Composición de las resinas compuestas

La resina compuesta dental es un material de gran densidad, constituida por moléculas de elementos variados, reforzada con partículas de relleno que se unen a la matriz por un agente de conexión.

Los componentes estructurales básicos de las resinas compuestas son: [15].

1. Matriz orgánica: resina plástica que forma una fase continua.
2. Partículas inorgánicas: relleno mineral inorgánico de refuerzo que forman una fase dispersa.
3. Agente de unión, que facilita la unión del relleno con la matriz (silano).
4. Sistema activador-iniciador de la polimerización.
5. Acelerador o inhibidor de la polimerización, los cuales aumentan el tiempo de trabajo.
6. Pigmentos que permiten obtener el color semejante de los dientes.
7. Radiopacificadores.

2.1.1.1 Matriz orgánica

Está constituida por monómeros de dimetacrilato alifáticos u aromáticos. El monómero base Bis-GMA (Bisfenol- A- Glicidil Metacrilato), tiene un peso molecular superior a el metacrilato y en su estructura tiene grupos aromáticos y dos dobles enlaces reactivos. Estas características hacen que el grado de contracción sea menor, forme una red tridimensional y la rigidez sea mayor [16, 17, 18]. Sin embargo, su alto peso molecular es una característica limitante, ya que aumenta su viscosidad, comprometiendo la manipulación.

Actualmente el sistema Bis-GMA/TEGDMA es uno de los más usados en las resinas compuestas. En general este sistema, muestra resultados clínicos relativamente satisfactorios, pero aún hay propiedades que necesitan mejorarse, como la resistencia a la abrasión.

2.1.1.2 Partículas de relleno

Proporcionan estabilidad dimensional a la matriz resinosa y mejoran sus propiedades físicas y mecánicas. La adición de partículas inorgánicas a la matriz reduce la contracción de polimerización, absorción de agua y el coeficiente de expansión térmica, proporcionando un aumento de la resistencia a la tracción, a la compresión y a la abrasión, aumentando el módulo de elasticidad (rigidez) [18].

Hay muchos tipos de partículas en función de composición, dimensiones, morfología y cantidad. En su mayoría están constituidas por dióxido de silicio (SiO_2) incorporadas a la resina como cuarzo cristalino o sílice pirógeno. El tamaño se consigue según proceso de fabricación (pulverización, trituración, molido) [18,19].

La tendencia actual es la disminución del tamaño de las partículas, haciendo que la distribución sea lo más cercana posible, en torno a $0.05 \mu\text{m}$ [19]. Es importante resaltar que cuanto mayor sea la incorporación de relleno a la matriz, mejores serán las propiedades de la resina, ya que, produce menor contracción de polimerización y en consecuencia menor filtración marginal [17,18]. Sin embargo, tan importante como la contracción de polimerización, es la tensión o el estrés de contracción de polimerización, es decir, la relación entre la contracción de la resina, su módulo de elasticidad y la cantidad de superficies dentarias a unir. Las resinas con altísima incorporación de relleno acaban contrayendo menos, pero causando mayor estrés de contracción lo que conlleva a mayor filtración, por ser demasiado rígidas [17, 18, 20, 21].

2.1.1.3 Agente de unión

La unión de la matriz de resina al relleno inorgánico se logra recubriendo las partículas inorgánicas con un agente de unión que tiene características tanto de relleno como de matriz. El agente es una molécula bifuncional que tiene grupos silanos (Si-OH) en un extremo y grupos metacrilatos (C=C) en el otro. Debido a que la mayoría de las resinas compuestas tienen relleno basado en sílice, el agente de unión más utilizado es el silano [19, 20]. Es una molécula bipolar que se une a las partículas de relleno cuando son hidrolizados a través de puentes de hidrógeno y a su vez, posee grupos metacrilatos, los cuales forman uniones covalentes con la resina durante el proceso de polimerización ofreciendo una adecuada interfase resina / partícula de relleno [20].

2.1.1.4 Sistema iniciador-activador de polimerización

La polimerización es una reacción donde los monómeros se unen entre ellos y forman moléculas más complejas o polímeros [16, 17, 19, 20].

Esta reacción necesita la presencia de un iniciador, que cede energía para desdoblar los dobles enlaces de los monómeros.

El proceso de polimerización de los monómeros en las resinas compuestas se puede lograr de varias formas: térmica, química y lumínica. En todas ellas, es necesaria la acción de los radicales libres para iniciar la reacción. Para que estos radicales libres se generen es necesario un estímulo externo. En las resinas auto-polimerizables el estímulo proviene de la mezcla de dos pastas, una de las cuales tiene un activador químico (amina terciaria aromática como el dihidroxietil-p-toluidina) y la otra un iniciador (peróxido de benzóilo).

En el caso de los sistemas fotopolimerizables, la energía que se libera de la radiación de la longitud de onda activa el iniciador de la

resina (canforoquinonas, lucerinas u otras diquetonas). Por lo tanto, es necesario que la resina sea expuesta a una fuente de luz con la adecuada longitud de onda, 427-491 nanómetros en el espectro de luz visible [13, 17, 19, 20, 21].

Factores a tener en cuenta en la polimerización [13, 15, 17, 19, 20, 21, 22], el clínico tiene que conocer por las repercusiones clínicas en los tratamientos:

- Tiempo de polimerización: depende de la profundidad de la cavidad, espesor de la capa y relleno del composite, potencia de la lámpara y las estructuras dentales interpuestas.
- Color del composite: los tonos oscuros requieren más tiempo de polimerización.
- Tipo de relleno: los composites de microrrelleno polimerizan peor que los de macrorrelleno.
- Temperatura: el composite a temperatura ambiente polimeriza en menos tiempo.
- Espesor de la capa: no polimerizar capas mayores de 2 mm.
- Calidad del foco de luz: verificar intensidad de lámpara, mayor de 600 mW/cm².
- Distancia foco/composite: debe ser a 1 mm y perpendicular.
- Contracción de polimerización: depende de la cantidad de matriz orgánica.

2.1.2 Tipos de resinas compuestas

Las clasificamos atendiendo al tamaño de las partículas de relleno [15, 21- 27]:

- Macrorrelleno. También llamadas resinas compuestas. El tamaño de las partículas oscila entre 0,1 y 100 micras.
- Microrrelleno. Las partículas son de sílice coloidal con un tamaño de 0,01 y 0,05 micras.
- Híbridas. Contienen partículas de macrorrelleno y microrrelleno con un tamaño medio de 0,04-100 micras, las actuales contienen 10 y 20% en peso de micropartículas de sílice coloidal y 50 a 60% de macropartículas de vidrio, llegando a un 75 a 80% total en peso.

Estos composites presentan las mejores propiedades de los composite de microrrelleno y cualidades del macrorrelleno, y se utilizan en el sector anterior y posterior debido a que tienen una menor contracción de polimerización, baja absorción de agua, resistencia a la abrasión, fatiga, desgaste.

2.1.3 Propiedades de las resinas compuestas

Las propiedades de las resinas compuestas vienen determinadas por sus componentes. La matriz orgánica interviene en la polimerización. El relleno inorgánico es el que condiciona las propiedades físico-mecánicas de los composites.

Elasticidad.-

Es la capacidad que tiene un material para volver a su forma inicial al cesar la fuerza que le ha producido alguna deformación [15].

El módulo de elasticidad, o módulo de Young indica la rigidez de un material. Un material con módulo de elasticidad elevado será más rígido, con menor deformación y por lo tanto, menor será la fatiga [1,15].

En las resinas compuestas esta propiedad viene determinada por el tamaño y porcentaje de relleno inorgánico, (módulo elástico alto): a mayor tamaño y porcentaje de partículas mayor módulo, mayor rigidez, menor deformación y menor fatiga.

El módulo elástico de la resina (18 GPa) compuesta debe ser igual o superior al módulo de la dentina, y se corresponde a un 60% de relleno en volumen [25].

Contracción.-

Es la disminución de volumen que sufre la resina compuesta en la reacción de polimerización. Los monómeros están a 4 nm; al polimerizar se establecen uniones covalentes y se reduce la distancia a 1,5 nm; éste acercamiento provoca una reducción volumétrica de 2.6% hasta 7.1%. La contracción depende exclusivamente de la parte orgánica y del grado de conversión de los monómeros; disminuye cuanto mayor es el porcentaje de relleno y con monómeros de elevado peso molecular [15, 25].

La disminución de volumen genera tensiones que puede llevar a despegamientos del material y a producir: espacios o brechas que a veces dan lugar a microfiltraciones, microcracks de esmalte [19].

La mejor expectativa para superar los problemas de la contracción por polimerización consiste en el desarrollo de futuras resinas que no se contraigan durante la polimerización [19].

Absorción acuosa.-

Las resinas compuestas absorben agua en superficie y en masa, haciendo que el material se expanda (expansión higroscópica) y se produce hidrólisis del relleno y matriz [15].

Esta propiedad también está relacionada directamente con el porcentaje de relleno inorgánico, a mayor relleno menor absorción de agua.

La resina incompletamente polimerizada exhibirá mayor absorción de agua y como resultante mayor degradación hidrolítica [11-16, 18-20].

Coefficiente de expansión térmica.-

La matriz orgánica de los composites sufre un cambio dimensional con los cambios de temperatura, tres veces mayor que la estructura dental.

Estos fenómenos pueden producir microfracturas en el material.

Radiopacidad.-

Las resinas compuestas obtienen radiopacidad al incorporar bario, zirconio, zinc, elementos que a través de la radiografía permiten una mejor identificación de la caries, y también evaluar los contornos, la adaptación marginal de la restauración, así como también, para distinguir entre una

restauración, presencia de caries y la misma estructura dentaria sana [15, 21, 22, 25].

Estabilidad del color.-

Los composites sufren alteraciones del color por causas extrínsecas como, mal pulido, generando manchas superficiales por alimentos y colorantes. Las causas intrínsecas, producen una decoloración como resultado del proceso de fotooxidación de iniciadores y aceleradores [15].

Resistencia al desgaste.-

Es la capacidad que poseen las resinas compuestas de oponerse a la pérdida superficial, por el roce con la estructura dental antagonista, alimentos y otros elementos tales como el cepillado. El desgaste no tiene un efecto perjudicial inmediato, pero conlleva una pérdida de la forma anatómica de las restauraciones, disminuyendo la longevidad de la resina.

Cuanto mayor sea el porcentaje de relleno, menor el tamaño y mayor la dureza de sus partículas, la resina será más resistente a la abrasión [26].

Este fenómeno causa el desprendimiento de las partículas de relleno, exponiendo la matriz y provocando su desgaste. El desgaste de la superficie de las resinas compuestas representa uno de los puntos débiles de este tipo de materiales. Este fenómeno aumenta considerablemente con el tamaño de la restauración, aunque algunas situaciones clínicas son capaces de acelerar el proceso, tales como, la oclusión traumática y el acabado de la restauración [15, 26].

2.1.4 Problemas de las resinas compuestas

En la actualidad, el uso de resinas compuestas en el sector posterior puede conllevar algún problema atribuible a diversas causas, entre ellas destacamos: la deficiencia intrínseca del material utilizado y problemas derivados de la técnica de aplicación. Estos problemas llevan al fracaso clínico de la restauración [15, 27, 28].

Las deficiencias intrínsecas de los materiales están menos cuestionadas, ya que, han sido solventadas por la industria al servicio de los clínicos. Por el contrario, en estudios longitudinales de estas restauraciones, se cuestiona de forma significativa una inadecuada técnica utilizada o un incorrecto diagnóstico, lo que conlleva el fracaso de la restauración [28].

Son muchos los problemas que plantean aún hoy las resinas compuestas. Para analizarlos se ha establecido una clasificación con dos grupos:

- Problemas derivados del material.
- Problemas derivados de la técnica.

El interés de esta clasificación reside en que quedan separados los problemas en, aquellos sobre los que casi no podemos intervenir para resolverlos y los que dependen casi exclusivamente de nuestra técnica y por lo tanto, podremos evitar [1, 15, 28-32].

Problemas derivados del material [1, 15, 28, 29, 30].

Fatiga.-

La resina compuesta al recibir fuerzas de forma continua y repetida provoca deterioro del material, generando fisuras y microfisuras que conllevan al fracaso de la restauración.

La fatiga de la resina compuesta depende también de los elementos que la constituyen, cantidad de fase orgánica de resina, forma y tamaño del relleno.

Desgaste.-

El roce de la obturación con el diente antagonista o en restauraciones interproximales con el diente adyacente en el punto de contacto, produce desgaste de la resina superficial y, como consecuencia, las partículas de relleno se van desprendiendo de forma que el material va perdiendo volumen desde la superficie hasta el interior.

Actualmente el desgaste ha dejado de ser un problema importante gracias a la incorporación de altos porcentajes de relleno y la mejor silanización de las partículas.

Contracción.-

La contracción que sufren las resinas compuestas por polimerización oscila entre el 2.7 y el 7.1 % del volumen de la masa.

Es el mayor problema de estos materiales, de difícil solución ya que las cadenas orgánicas de la resina, al unirse unas con otras para polimerizar reducen el volumen total. Fundamentalmente depende, de la proporción resina /relleno, en las resinas actuales el contenido inorgánico es mayor y contraen menos.

La reducción de volumen, puede generar el despegamiento de la restauración, por la debilidad de adhesión a las paredes, o una tensión constante, generando tracciones en las paredes cavitarias.

Problemas derivados de la polimerización.-

- Despegamiento de márgenes cavitarios y microfiltración.
- Despegamiento de paredes y formación de GAP.
- Tracción entre paredes opuestas con deformación o deflexión cuspídea.
- Fractura del esmalte.

De la contracción derivan los problemas clínicos más graves en las restauraciones con resina compuesta como son la caries secundaria, hipersensibilidad y fractura de obturación.

Los despegamientos de márgenes cavitarios y paredes, derivados de la contracción, van a crear microespacios (GAP), permitiendo el paso de bacterias, fluidos, moléculas e iones entre las paredes de la cavidad y el material restaurador generando caries secundaria.

Los GAP permiten movimientos del fluido dentinario dentro de los túbulos generando hipersensibilidad con los cambios térmicos y la masticación.

Otro problema, es la fractura de la restauración y/o estructura dentaria debido a las tensiones mecánicas que causaron deflexión entre las cúspides o cracks, si la contracción es mayor que la fuerza de unión al material restaurador.

Biocompatibilidad.-

Actualmente las resinas compuestas no son tóxicas “per se”. Se pensaba que la toxicidad estaba provocada por la acción irritante sobre el complejo dentino-pulpar de los monómeros que quedan sin polimerizar y por ello se perseguía evitar el contacto directo de la resina con la dentina a base de protegerla con materiales como el hidróxido de calcio.

Posteriormente se demostró que la afectación pulpar no era del material en si, sino por fenómenos de microfiltración de bacterias que se desarrollaban en los GAP entre la restauración y la dentina después de producirse la contracción de polimerización.

Actualmente el objetivo es conseguir un adecuado sellado, es decir, interfase cerrada entre el material de obturación y el tejido dentario para impedir que haya GAP y genere irritación del complejo dentino-pulpar.

Conversión.-

La cantidad de monómeros que se convierten en polímeros, es el grado de polimerización o curado. Las propiedades físicas del material dependen en gran medida del grado de polimerización.

La fotopolimerización llega a alcanzar un grado de conversión del 60 al 70% de resina, quedando gran cantidad de resina sin polimerizar.

Cambios de color.-

Es un problema de aclarado de la obturación que aparece con el paso del tiempo y es intrínseco de las resinas compuestas, causado por las moléculas catalizadores de inicio de polimerización.

Este problema hoy está resuelto con los materiales que empleamos.

Rugosidad superficial.-

La rugosidad viene determinada por el tamaño de partícula. Es una cualidad negativa de las resinas compuestas porque retiene placa bacteriana, atrapa colorantes y es abrasiva para el antagonista.

Los composites de microrelleno son los que permiten un acabado menos rugoso.

Problemas derivados de la técnica [1, 15, 28-32].

Defectos de relleno.-

Son muy frecuentes los defectos de relleno en las obturaciones posteriores y son causa de fracaso.

Los problemas que se generan por mala técnica y defectos de relleno pueden derivarse de:

- Acumulación de resina en los ángulos por su tensión superficial.
- Atrapamiento de aires. Es muy frecuente encontrar espacios sin rellenar por la configuración de la cavidad (fallo en la inserción) y adherencia del composite a los instrumentos. Los factores que facilitan espacios vacíos son la escasa visión, una caja estrecha y profunda, la adherencia-arrastre del composite a instrumentos, presencia de matriz y excelente sellado.

Defectos de polimerización.-

La inadecuada técnica de polimerización reducirá el grado de conversión de los monómeros de la resina compuesta, y hará que fracase el tratamiento restaurador [18, 22].

Los problemas de polimerización que pueden generarse a causa de la técnica están en relación con [15]:

- El estado de la lámpara y rango de longitud de onda. La bombilla, filtro y fibras tienen que estar en perfecto estado y existen medidores de intensidad que verifican el estado de la lámpara.
- Obstáculos al paso de la luz, interfieren el paso y por tanto reducen la profundidad de polimerización de los composites. Los obstáculos pueden ser la interposición de tejido dentario o del material de obturación, destacando de éste último las partículas de relleno inorgánico y los pigmentos. Por ello, el grosor de las capas que pueden polimerizarse está limitado a dos milímetros.
- Técnica de aplicación. Es determinante en el grado de conversión. Los factores que influyen son el ángulo de incidencia y la distancia entre el foco de luz y el material. La forma más efectiva de polimerizar es aplicar la luz lo más cerca posible de la superficie y perpendicular a ésta.

Punto de contacto.-

La reconstrucción de un adecuado punto de contacto con el diente adyacente es una dificultad y constituye un reto en la técnica clínica. Provocará problemas gingivales, periodontales y caries proximales.

Las causas en la generación de un punto de contacto inadecuado son:

- Dificultad en la condensación del material de obturación.
- Disposición de la matriz; la elección de ésta y el conocimiento del manejo son esenciales. El espesor que ocupan la matriz para la restauración de una cara proximal y el inadecuado ajuste interproximal conlleva a no conseguir un punto de contacto sólido, configurado y situado en el lugar adecuado.

Fractura del composite.-

Las fracturas del material de obturación no ocurren salvo incumplimiento de algún principio o indicación equivocada.

Las causas que pueden provocar fracturas son:

- Espesor insuficiente, es un error frecuente, se produce la fractura al recibir impactos procedentes de la oclusión.
- Oclusión excesiva, no compensación de istmos y reborde marginal mal configurado con punto de contacto alto y pared proximal recta.
- Soporte inadecuado de la restauración.

Fractura de tejido dentario.-

El módulo de elasticidad de las resinas compuestas es similar a la dentina y la posibilidad de unirse fuertemente a los tejidos dentales, hace que aumente el límite de conservar paredes débiles.

La decisión de eliminar o no una pared debe hacerse en cada caso en función de factores como el tipo de antagonista, la fuerza de oclusión, las características del diente. Dejar el esmalte sin apoyo o las paredes altas y estrechas, es una situación de riesgo que dará lugar a un fracaso de la restauración, aunque funcionan durante un determinado tiempo.

Hipersensibilidad.-

Es debido al movimiento de fluidos que tiene lugar dentro de los túbulos dentinarios cuando el composite esta mal sellado y hay cambios térmicos o a la masticación.

La hipersensibilidad post-restauración al frío y a la masticación indica que se ha realizado una mala fase clínica de adhesión con fracaso del sellado entre el composite y el tejido remanente.

Daño pulpar.-

El daño pulpar de las resinas compuestas se debe a una técnica inadecuada en el sellado dentinario generando microfiltración de bacterias y fluidos. La ausencia de bacterias evita el daño pulpar y para ello realizaremos:

- Eliminación por completo la dentina infectada.
- Realizar perfecto sellado de esmalte y dentina.

Los problemas clínicos derivados de la técnica pueden deberse a una deficiencia durante el proceso de adquisición de habilidades en los tratamientos realizados, y por lo tanto, es una secuencia a estudiar y analizar para poder aportar posibles soluciones y mejorar los resultados clínicos a nuestros pacientes.

2.2 Sistemas de Razonamiento Basado en Casos (CBR)

Durante los últimos años, se han producido excelentes avances en el campo de la Biomedicina y la Bioinformática. La incorporación de técnicas computacionales como la minería de datos y la Inteligencia Artificial (IA), en este campo han dejado notables progresos en la prevención y detección de diversas enfermedades [33]. En la actualidad, estas técnicas se aplican en diversos problemas de la medicina como pueden ser la genómica, el estudio de enfermedades como la meningitis y en campos como la odontología [33,34]. Dentro de las ramas existentes en la minería de datos se tienen las técnicas de extracción de conocimiento. Estas técnicas son habituales en la aplicación de mecanismos para la extracción de información relevante de diversos problemas, como por ejemplo los genómicos; aunque también se aplican en otros ámbitos como la optimización.

Los objetivos que persigue el aprendizaje automático no son tanto modelar el aprendizaje humano, sino superar los límites de los sistemas de IA habituales, cuyos límites vienen impuestos por el conocimiento que se les ha introducido, no siendo capaces de resolver problemas más allá. Partiendo de la premisa de que es imposible prever todos los problemas desde el principio, el aprendizaje automático pretende aportar a los programas de Inteligencia Artificial, la capacidad de adaptarse sin tener que ser reprogramados [33-35].

Entre las aplicaciones habituales de los sistemas de aprendizaje automático podemos encontrar las tareas difíciles de programar como el reconocimiento facial, las aplicaciones auto-adaptables como los interfaces inteligentes o los filtros anti-spam y la minería de datos que supone un análisis inteligente de grandes volúmenes de datos.

Como disciplina no hay una única forma de aprendizaje automático, diferenciándose distintos tipos en función de las características del aprendizaje. Apareciendo diferentes tipos de aprendizaje automático.

Aprendizaje genético: aplica algoritmos inspirados en la teoría de la evolución para encontrar descripciones generales a conjuntos de ejemplos.

Aprendizaje conexionista: busca descripciones generales mediante el uso de la capacidad de adaptación de las redes neuronales artificiales.

Aprendizaje inductivo: crea modelos de conceptos a partir de la generalización de ejemplos simples buscando patrones comunes que expliquen estos ejemplos.

Aprendizaje analógico: busca una solución a un problema nuevo, en base a la existencia de similitudes con problemas ya conocidos y adaptando sus soluciones. Los sistemas de razonamiento basados en casos se integran en este tipo de aprendizaje [34-36].

Un Sistema de Razonamiento Basado en Casos (CBR) resuelve problemas por medio de la adaptación de soluciones dadas anteriormente. La memoria de un CBR almacena un número de problemas y sus soluciones; ante un nuevo problema recuperan casos similares y dan una solución, es decir resuelve problemas buscando soluciones dadas con anterioridad. Un CBR es un sistema dinámico en el cual los nuevos problemas son añadidos continuamente a su memoria, de tal forma que los problemas parecidos o similares se eliminan y paulatinamente se crean otros mediante la combinación de varios ya existentes. La idea que impulsó esta metodología se basa en el hecho de que los humanos utilizan lo aprendido en experiencias previas para resolver problemas presentes [33, 34-39].

Los casos típicos admitidos para su análisis con CBR deben ser casos cuyo problema bien estructurado contenga la experiencia pasada y la información del contexto, por tanto serán [40,41,42]:

Casos que describen problemas y sus soluciones podrán utilizarse para generar nuevas soluciones en nuevos problemas.

Casos compuestos por problemas y resultados que puedan emplearse para evaluar nuevas soluciones.

Casos formados por problemas, soluciones y resultados que puedan utilizarse para evaluar resultados de posibles soluciones y por tanto, evitar riesgos así como posibles problemas.

Los casos se pueden presentar de forma diferente en función del problema pero toda la información debe ser funcional, fácil de entender, de interpretar y de recuperar [43].

2.2.1 Estructura general del ciclo de vida de un sistema CBR

Un sistema CBR obtiene la solución a un problema determinado analizando problemas pasados, comparando y adaptando el problema a la situación determinada. Para ello basan su conocimiento en los problemas almacenados en su memoria en forma de casos, realizando todas estas acciones de forma estructurada y cíclica donde generalmente se requiere la intervención humana [44].

Los sistemas CBR se pueden utilizar de forma individual o formando parte de un sistema convencional o inteligente, pero están especialmente indicados cuando las reglas que definen un sistema de conocimiento son difíciles de obtener, o el número y complejidad de las mismas es demasiado grande para un sistema experto [44, 45].

El objetivo del sistema CBR es encontrar una solución a un determinado problema buscando en su memoria casos similares con sus soluciones. Una vez seleccionados estos casos se reutilizan para generar una solución inicial que se revisa y crea un nuevo caso almacenado en la memoria para su posterior utilización. Los casos de la memoria se pueden eliminar o mezclar para generar nuevas situaciones que solucionen los nuevos problemas introducidos [46-49].

Un sistema CBR se asemeja a la estructura general del conocimiento humano, si al buscar una solución esta es insatisfactoria, eliminará los casos y soluciones causantes de esta irregularidad buscando situaciones correctas y

experimentadas en lugar de realizar asociaciones generales entre problemas con iguales características como haría un sistema de razonamiento basado en reglas o depender del conocimiento general de un determinado problema [50, 51, 52].

Un CBR es un sistema de aprendizaje incremental puesto que cada vez que resuelve un problema es posible crear otro y almacenarlo para su posterior utilización. No obstante, requiere de la intervención humana en muchas situaciones especialmente en la fase de revisión de la solución y en la retención de nuevos casos; esto supone su mayor inconveniente ya que requiere de la presencia de un experto.

Cada problema a estudiar define la estructura del sistema CBR basándose en la necesidad de comparar las características sintácticas o semánticas de los casos y las soluciones.

El ciclo de vida de un CBR está compuesto por cuatro fases necesarias para la resolución de un nuevo problema [45]:

1. *Recuperación* de los casos más relevantes.
2. *Reutilización* de los casos o problemas con la intención de solucionar el problema presente.
3. *Revisión* de la solución propuesta.
4. Retención o *aprendizaje* de la nueva solución como parte de un nuevo caso. [33,48, 53, 54]. Figura 1.

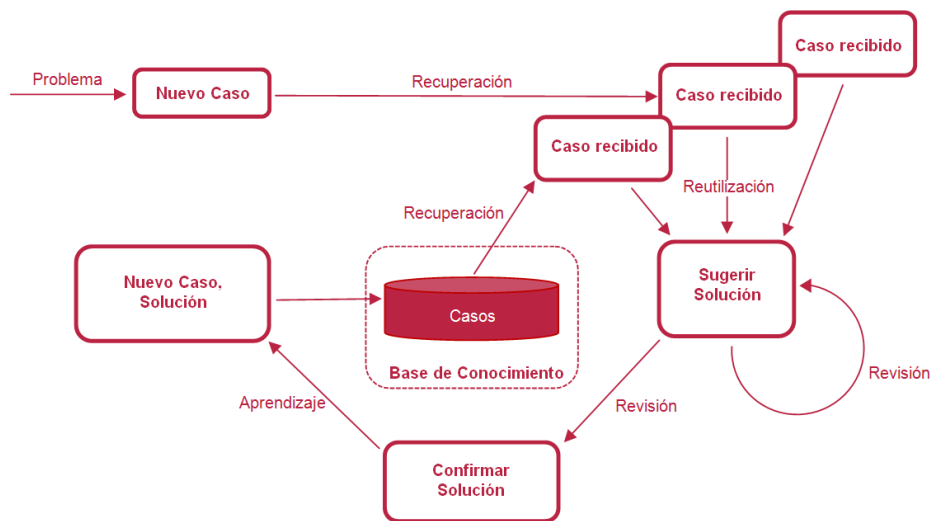


Figura 1. Ciclo de vida de un CBR

1. Recuperación

En esta fase, el sistema CBR extrae los casos almacenados en su memoria más similares al problema que se desea solucionar [45]. Esta fase funciona en tres etapas consecutivas que deben seguir el mismo orden:

Identificación de las características que definen un problema.

Comparación inicial de los casos más similares al problema mediante reglas predefinidas.

Búsqueda y selección del caso o grupo reducido de casos que más similitud tiene con el problema presente por el que se empezará a definir la nueva solución.

Los casos más próximos al problema se seleccionan después de un estudio profundo de los casos recuperados inicialmente a partir de las características del problema. Esta selección es mucho más complicada que la

elección inicial y en los sistemas actuales requieren la intervención humana, lo que puede considerarse un gran inconveniente [55, 56].

2. Reutilización

En la fase de reutilización, el sistema CBR estudia las diferencias entre el caso o casos seleccionados anteriormente y el problema existente viendo cuáles son las características de los casos seleccionados que se pueden trasladar al problema presente.

En los problemas simples de clasificación, las diferencias entre los casos se ocultan y sólo se tienen en cuenta las similitudes, en este momento el problema adopta la solución del caso recuperado [45-47,79,80,84]. En la mayoría de las ocasiones las diferencias son importantes y es necesaria una adaptación de las soluciones.

Las soluciones se pueden adaptar mediante:

Reutilización transformacional.

Reutilizando soluciones dadas a problemas anteriores. La solución al caso presente no es la solución adoptada para esta situación pero existe una transformación que da lugar a una solución al presente problema a partir de las soluciones de los casos recuperados [45,102]. El principal problema es determinar los algoritmos adecuados para la adaptación de los casos recuperados para generar la nueva solución [92].

Reutilización derivacional.

Se reutilizan los métodos empleados para generar soluciones en los casos pasados. El caso recuperado debe contener la información relacionada con el método utilizado incluyéndose así para cada operación utilizada, objetivos, alternativas generadas, problemas encontrados en la búsqueda de la

solución. En este tipo de reutilización se usa el método antiguo para resolver el nuevo problema [57].

3. Revisión

En esta fase la solución propuesta se examina minuciosamente. Si es aceptada, puede utilizarse durante la etapa de aprendizaje, pero si la solución es insatisfactoria se puede modificar o reparar usando un conocimiento específico acerca del problema en cuestión [43,45].

La evaluación de una solución se realiza normalmente aplicando dicha solución a un problema real, y son sus características las que determinan cuándo se puede llevar a cabo esta evaluación, siendo en ocasiones necesario el uso de simuladores. Si la solución se debe modificar, es necesaria la identificación de los errores cometidos durante la generación de la solución y poder explicarlos usando técnicas basadas en explicaciones. Una vez identificados los errores la solución se repara usando la explicación al error y evitándolo cuando aparezca [58].

4. Aprendizaje

Los sistemas CBR durante esta fase identifican los aspectos que pueden aprender o memorizar y por tanto incluir en la memoria. Deben tener en cuenta las modificaciones de la fase anterior para realizar sus tareas más importantes:

Seleccionar la información contenido en los casos en que debe memorizarse.

Definir cómo debe almacenarse la información obtenida.

Establecer los mecanismos de indexación del nuevo problema para así poder reutilizarlo en un futuro.

Definir la forma de integrar el nuevo caso en la estructura de la memoria determinando si las fuentes del aprendizaje son a partir de las características que describen un problema o a partir de la solución dada al problema.

Un CBR es un sistema dinámico donde su memoria debe modificarse continuamente a partir de los problemas resueltos, es decir, si un caso reutiliza y adapta una nueva solución esta puede generalizarse o incluso crear un caso nuevo donde, en muchas ocasiones, es necesaria la ayuda de un experto para crear dicho caso.

La actualización de la memoria es el paso final de esta fase, lo que constituye el verdadero aprendizaje por medio de integración de varios casos e indexación de los mismos ajustando cada caso en función del éxito o no de su reutilización [48, 50].

Por tanto, la indexación de los casos tanto nuevos como reutilizados es un punto crucial en el aprendizaje del sistema CBR; dicho sistema admite índices predictivos lo suficientemente concretos como para identificar los casos de forma idónea, flexibles para adaptarse a los cambios necesarios y adecuados para el problema en el que se utilizan [38, 54].

Existen varios mecanismos de indexación de los casos, unos automáticos y otros que requieren la intervención manual de un experto. En general los métodos de indexación automática pueden ser:

Indexación basada en las características y atributos más representativos del problema, una vez analizados se ordenan y se indexan teniendo en cuenta el valor cuantitativo de sus características [58]

Indexación basada en diferencias, seleccionados los índices que forman las diferencias entre los casos se pueden separar las distintas soluciones de un problema. Ordenadas e indexadas se utilizan para solucionar nuevos problemas [39, 40].

Indexación basada en la generación de índices de similitud. Agrupando características similares y creando nuevos rasgos comunes a todos ellos se indexan soluciones a cada caso individual [59].

Indexación mediante aprendizaje inductivo. Identificando las características, estas se usan como índices y se indexan mediante algoritmos de inducción [60].

Indexación basada en explicaciones. Analizando cada caso y determinando cuáles son sus características fundamentales se utilizan en un determinado orden para identificar los nuevos casos [50, 61].

2.2.2 Tipos de sistemas CBR

Existen muchos sistemas de CBR; aunque todos comparten la misma estructura cada uno se adapta mejor a un tipo de problema en particular.

Razonamiento basado en ejemplares: son sistemas que centran su aprendizaje en la definición de conceptos. Los casos parecidos se agrupan en clases que absorben las características más importantes de los casos asociados; la solución buscada debe ser la que, en general, represente las características de cada problema en particular. La solución más similar al problema se utiliza como solución a este problema [36, 53].

Razonamiento basado en instancias: son sistemas que basan su aprendizaje en ejemplares centrado en problemas con fuertes connotaciones sintácticas, es decir situaciones donde hay un número muy grande de casos que dan un amplio espectro de posibilidades. En problemas donde falta conocimiento general de las leyes que rigen el comportamiento del sistema.

Razonamiento basado en memoria: estos sistemas tienen en su memoria una colección de casos y el razonamiento es un proceso de recuperación de estos casos almacenados.

Razonamiento basado en casos: este tipo de aprendizaje requiere que:

- Un caso tenga un número de características distintivas y relevantes con una estructura interna relativamente compleja.
- Un CBR debe ser capaz de adaptar la solución recuperada al contexto en el que está inmerso.
- El sistema CBR requiere cierto conocimiento del problema general.
- El algoritmo utilizado se debe basar en las teorías desarrolladas en el ámbito de la psicología cognitiva [39, 40].

Razonamiento basado en analogías: estos sistemas intentan resolver un problema utilizando casos antiguos procedentes de un conocimiento diferente [62].

2.2.3 Uso de CBR en bioinformática

2.2.3.1 Técnicas de extracción del conocimiento

Debido a la capacidad de cálculo existente hoy en día, los ordenadores son capaces de realizar procesos de clasificación complejos que en muchas ocasiones son difíciles de justificar. Por ello, se hace necesario el uso de técnicas que proporcionen información sobre los procesos de clustering y clasificación, de forma que se permita extraer la información necesaria para explicar los resultados obtenidos mediante las técnicas de clustering, permitiendo de este modo crear procesos de clasificación fácilmente entendibles por las personas humanas.

Las técnicas de extracción de conocimiento son variadas, aunque de modo genérico se podrían agrupar de la siguiente manera:

- Teoría de los Conjuntos Aproximados [80].
- Árboles de decisión [42,83].
- Análisis de sensibilidad.
- Redes bayesianas [79].

Los conjuntos aproximados, árboles de decisión y redes bayesianas se aplican a cualquier tipo de problemas mientras que los análisis de sensibilidad se aplican a las redes neuronales que utilizan el algoritmo de retropropagación en el aprendizaje.

El objetivo de los conjuntos aproximados y los árboles de decisión, es proporcionar a un experto humano información sobre la clasificación realizada por el sistema mediante la generación de reglas que servirán de apoyo para la toma de decisiones. Es necesario señalar, que las técnicas de extracción de conocimiento no persiguen sustituir la capacidad de juicio y experiencia de un experto humano en la evaluación de un diagnóstico, pero sí complementarla y añadir una sistemática o procedimientos comunes de análisis.

2.2.4 Teoría de conjuntos aproximados

Esta teoría tiene sus orígenes en los trabajos de Pawlak [79]. Como visión global, esta teoría permite obtener a partir de una agrupación previa, una tabla de decisión que facilite la clasificación de nuevos individuos en base a una serie de atributos. La teoría de conjuntos aproximados basa su funcionamiento en un marco de trabajo en el que el conocimiento es impreciso, lo que supone que para unos mismos atributos se pueden dar clasificaciones diferentes para el problema.

Esta técnica presenta como principal problema que está orientada a trabajar con atributos cualitativos y no cuantitativos. El hecho de no poder trabajar con atributos cardinales, sería subsanable, si fuera posible el uso de atributos ordinales realizando una discretización previa de los valores, pero por la propia definición de las clases de equivalencia se ve que no es posible el uso de esta técnica en dichas situaciones. Sería necesario, un replanteamiento de la definición de las clases de equivalencia para poder utilizarla en estos casos.

Otro de los principales problemas que presenta esta técnica de extracción del conocimiento, es la alta computación que requieren los algoritmos para la extracción de los reductos a partir de los subconjuntos, especialmente, cuando se tratan casos con más de 100 atributos. Es por ello, que esta técnica se hace poco abordable en muchas situaciones si se quieren obtener los diferentes reductos posibles. No obstante, el principal obstáculo es la imposibilidad de usar atributos ordinales para la obtención de reglas con desigualdades como la siguiente:

$$a_1 > V_{a_1} \wedge \dots \wedge a_n < V_{a_n} \rightarrow (a_1^p > V_{a_1^p}, \dots, a_s^p > V_{a_s^p})$$

Donde a_i representa el atributo i y V_{a_i} el valor para ese atributo.

2.2.5 Reglas de decisión

Son algoritmos que permiten obtener, a partir de una serie de grupos predefinidos, la información que permite clasificar a un individuo en un grupo u otro. Estos métodos, facilitan explicar las agrupaciones llevadas a cabo mediante diferentes algoritmos, pudiendo ser usados con diferentes técnicas de cluster. La generación de las reglas permite generar explicaciones en métodos considerados como cajas negras, como es el caso de las redes neuronales artificiales.

Existen diversos tipos de reglas, por un lado se tendrían los árboles de decisión, y por otro lado las reglas de decisión que generan modelos de reglas

no jerárquicos. La diferencia es que en los árboles de decisión, se puede generar a partir de las reglas que los componen una representación del conocimiento en forma de árbol, puesto que los antecedentes de las reglas poseen elementos comunes, mientras que en las reglas de decisión tradicionales, los antecedentes no tienen por qué tener elementos comunes.

Dentro de las reglas de decisión, existen diversos algoritmos muchos de ellos están implementados en software de minería de datos como Weka. Entre los algoritmos existentes que han sido probados están RIPPER [79], M5 [80], One-R [81] y PART [82]. En algunas pruebas realizadas, se han comportado de manera muy similar a los árboles de decisión y han generado las mismas reglas para algún caso de estudio.

RIPPER se trata de un algoritmo con carga computacional en la búsqueda de los literales en cada una de las reglas, puesto que realiza una búsqueda en amplitud de todas las alternativas [79]. El algoritmo se puede extender fácilmente con el simple hecho de incluir en la categoría negativos a todos los elementos que no pertenecen a la clase positiva. De inicio está orientado al uso de variables categóricas aunque se puede extender al uso de variables continuas aunque ya no es tan eficiente. A pesar de todos estos inconvenientes, el funcionamiento del algoritmo es mucho mejor que el caso de los rough set, se ha probado para varios miles de variables y 100 individuos y ha finalizado sin problemas en un tiempo de computación bastante bajo, apenas unos segundos.

2.2.6 Árboles de decisión

Son un caso particular de las reglas de decisión que permiten además representar las reglas en forma de árbol [83]. Es una técnica de extracción del conocimiento ampliamente usada en diferentes ámbitos, desde la simple estadística, hasta la bioinformática [49]. Se trata de una técnica bastante evolucionada y con una diversa variedad de propuestas. Entre ellos es posible enumerar a CLS (Concept Learning System) [84], ID3 (Induction Decision

Trees) [86, 87], CART (Classification and Regression Trees) [88, 89], OC1 (Oblique Classifier 1) [90,91], ASSISTANT [92,93] o C4.5, C5.0/See5 [94, 95], que han alcanzado una notable repercusión dentro del ámbito de la biomedicina.

Estas técnicas, permiten extraer el conocimiento en problemas en los que se dispone de una colección de casos, que contienen un conjunto de atributos que se consideran independientes y un atributo que se considera dependiente [81,89,92]. Los atributos pueden ser de diversos tipos, pudiendo ser continuos o discretos, o bien nominales y ordinales. La meta es determinar el conjunto de atributos independientes que implican un determinado valor para el atributo dependiente [97,98].

Los árboles se componen de dos tipos de nodos, los nodos hojas y los nodos de test. Los nodos hojas, se corresponden con un nodo final del árbol que contiene la información del grupo final en el que los casos son clasificados, mientras que los nodos de test, contienen una regla lógica que determina el subárbol a seleccionar según el valor que tome [83]. En caso de ser cierto, se selecciona la rama de la izquierda y en caso de no cumplirse la condición se selecciona la rama de la derecha. De este modo, los casos se van disgregando según el valor de los nodos de test aplicando la estrategia de divide y vencerás.

Un ejemplo de árbol de decisión, se puede ver en la siguiente Figura 2. . Se puede ver que se parte de un nodo raíz y en cada uno de los nodos intermedios se tiene la regla de decisión. Finalmente, se tiene la clasificación final a la que se llega y el número de individuos clasificados de cada tipo. Este árbol se ha generado mediante CART (Classification and Regression Trees) [83].



Figura 2. Árbol de decisión generado por CART

De modo general, los árboles de decisión se construyen a partir de la maximización de funciones que tienen en cuenta la tasa de acierto y fallo de los nodos clasificados en función de los atributos seleccionados y la condición establecida.

Los árboles de decisión son una técnica que permite extraer de forma sencilla las reglas que permiten explicar las clasificaciones de los individuos. Las reglas se pueden expresar mediante antecedentes y consecuentes o bien se puede representar la información en forma de árbol lo que facilita la comprensión. Las últimas variantes de los algoritmos, permiten la inclusión de condiciones de decisión más variables permitiendo incorporar atributos de tipo numérico bien se tratante de valores continuos u ordinales. No obstante, el uso de atributos numéricos, requiere en la generación de las reglas de decisión sobrecarga en gran medida el procesamiento, por lo que es necesario discretizar los valores para poder aplicar estos procedimientos cuando el número de atributos es elevado.

Si no se lleva a cabo la discretización de los valores, la selección del punto de corte para las reglas de decisión se convierte en una etapa demasiado pesada para el procesamiento. No obstante, tanto CART como J48 se comportan de manera bastante eficiente cuando el número de atributos es elevado, por lo que es realmente útil cuando se tiene este problema. Otras técnicas, como los rough set, no permiten incorporar atributos continuos u

ordinales y tampoco pueden manejar los volúmenes de información que manejan los árboles de decisión.

Además, las técnicas empleadas para la selección de atributos, se pueden aplicar para la extracción de sondas relevantes. Las fórmulas aplicadas a la selección de atributos se pueden aplicar para la extracción de atributos de relevancia ya que permiten extraer las sondas que mejor caracterizan a los grupos.

El principal problema que presentan estas técnicas es que su carga computacional suele ser elevada por lo que no se puede aplicar de forma directa a un gran volumen de información , por lo que no son aplicables de modo directo sin haber realizado un filtrado previamente. Además del filtrado, tal y como se ha comentado anteriormente, es necesario realizar una discretización de los valores para facilitar la selección de las reglas de los nodos.

2.2.7 Redes Bayesianas

Una red bayesiana es un modelo probabilístico multivariado que relaciona a un conjunto de variables aleatorias mediante una grafo dirigido acíclico que permite inferencia bayesiana para la estimación de probabilidades de variables no conocidas a partir de variables conocidas [79,80,82,93]. Las redes bayesianas constan de los siguientes elementos:

- Un conjunto de nodos, uno por cada variable aleatoria.
- Un conjunto de arcos dirigidos que conectan los nodos.
- Cada nodo contiene la distribución de probabilidad condicional que lo relaciona con el nodo padre.

Se fundamentan en teorema de Bayes [79, 80- 84]. El teorema de Bayes permite calcular la probabilidad de un suceso a priori A_i sabiendo que ha ocurrido a posteriori el suceso B . Se define de la siguiente manera.

$$P(A_i | B) = \frac{P(B | A_i) \cdot P(A_i)}{P(B)} = \frac{P(B | A_i) \cdot P(A_i)}{\sum_{j=1}^n P(B | A_j) \cdot P(A_j)}$$

Donde:

- $P(A_i)$ es la probabilidad de que ocurra el suceso A_i
- $P(B | A_i)$ es la probabilidad de que ocurra el suceso B sabiendo que ha ocurrido A_i
- $P(A_i | B)$ es la probabilidad de que haya ocurrido anteriormente el suceso A_i sabiendo que posteriormente se ha dado B
- $P(B)$ es la probabilidad de ocurra el suceso B .
- Los sucesos A_i son excluyentes

Inicialmente, las redes bayesianas, Figura 3, se construían a mano mediante el conocimiento de un experto. Actualmente, se han desarrollado procedimientos para realizar el proceso de modo automático o semiautomático. Para definir la red de Bayes [79,86], es necesario establecer el conjunto de variables que forman parte del problema que se está tratando.

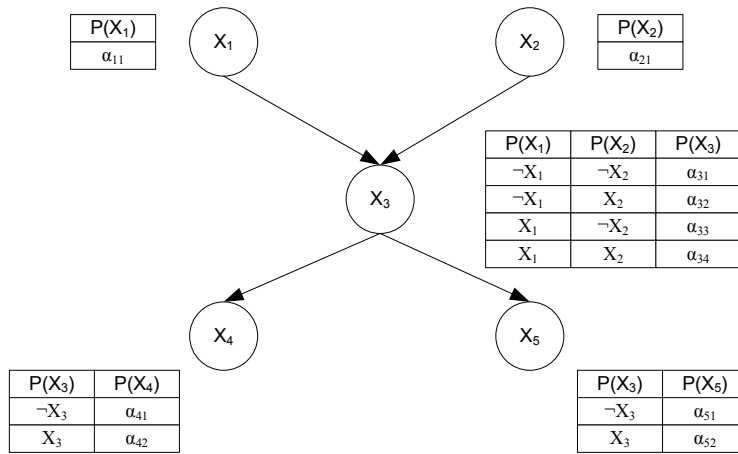


Figura 3. Red Bayesiana

Si siguiendo este procedimiento, se podría calcular la probabilidad de que ocurran las diferentes combinaciones de sucesos, consiguiendo así determinar la probabilidad de las diferentes combinaciones.

En el caso de querer establecer una prioridad a priori a través de la red bayesiana, conocido lo que ha ocurrido a posteriori se puede realizar siguiendo la siguiente ecuación:

$$P(X | e) = \alpha P(X, e) = \alpha \sum_y P(X, e, y)$$

Donde X representa una variable de un suceso que se quiere calcular a priori, e un conjunto de variables conocidas a posteriori, α es una constante de modo que la suma de los diferentes sucesos de la variable X sea 1.

Si siguiendo el procedimiento anterior y la definición de la probabilidad de un determinado suceso $P_B(X_1, X_2, \dots, X_n)$, se puede calcular la probabilidad de que ocurra el suceso $P(X | e)$ suponiendo que X se corresponde con las diferentes alternativas del suceso X_1 y e con los sucesos X_4, X_5

$$\begin{aligned}
P(X | e) &= \alpha \langle P(X_1 | X_4 X_5), P(\neg X_1 | X_4 X_5) \rangle = \\
\alpha &< \sum_{x_2 \in X_2} \sum_{x_3 \in X_3} P(X_1, x_2, x_3 | X_4 X_5), \sum_{x_2 \in X_2} \sum_{x_3 \in X_3} P(\neg X_1, x_2, x_3 | X_4 X_5) \geq \\
\alpha &< \sum_{x_2 \in X_2} \sum_{x_3 \in X_3} P(X_1) P(x_2) P(x_3 | X_1 x_2) P(X_4 | x_3) P(X_5 | x_3), \\
&\sum_{x_2 \in X_2} \sum_{x_3 \in X_3} P(\neg X_1) P(x_2) P(x_3 | X_1 x_2) P(X_4 | x_3) P(X_5 | x_3) >
\end{aligned}$$

Una vez es obtenida la expresión anterior, se sustituyen las probabilidades. El valor de α se establece de modo que $\alpha(P(X_1 | X_4 X_5) + P(\neg X_1 | X_4 X_5)) = 1$

Dentro de las redes bayesianas se puede obtener un clasificador con una estructura en forma de árbol que se denomina TAN (Tree Augmented Naive Bayes), en forma de red multiconectada denominada BAN.

En el caso del clasificador de Bayes simple, los cálculos se simplifican debido a que se supone la independencia entre los sucesos dada una determinada clase, por tanto, la probabilidad de que se de una determinada clase dado un conjunto de atributos viene definido de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
P(X | e) &= P(X) \cdot P(e | X) / P(e) = \\
P(X | e) &= P(X) \cdot P(e_1 | X) \cdot \dots \cdot P(e_n | X) / P(e)
\end{aligned}$$

Donde X representa las diferentes clases de un atributo y e los diferentes valores de los atributos. Gráficamente, se representa por una red, en la que los atributos no se encuentran interconectados entre sí, y sólo se encuentran conectados con el atributo que representa las diferentes clases identificadas por X . El clasificador de Bayes simple no suele dar buenos resultados puesto que la hipótesis de que los atributos son independientes no suele ser cierta.

Las redes bayesianas suponen una alternativa bastante interesante a los árboles de decisión debido a que permiten obtener una probabilidad en las predicciones y aportan más información que los árboles o las reglas de decisión. No obstante, el procedimiento de construcciones de las mismas es bastante costoso siendo por tanto el principal problema cuando se trabaja con

un número elevado de variables. El proceso de construcción requiere el cálculo de probabilidades que son necesarias estimar en base al estudio de la frecuencia de los datos existentes [84,85,86].

El cálculo de las probabilidades a partir de las frecuencias de los datos se complica a la hora de realizar los cálculos con variables continuas puesto que es necesario realizar una discretización de los datos o bien aplicar lógica difusa para su cálculo. Sólo se permite el uso de algunos tipos de variables continuas con distribuciones gaussianas y relaciones lineales [95-102].

Desde el punto de vista de la bioinformática, más concretamente en los microarrays, no es muy utilizado debido a la gran cantidad de información disponible, ya que necesitaría mucho tiempo para la realización de los cálculos y además no resulta sencilla su interpretación. No obstante, se pueden aplicar en otros campos como la planificación para la catalogación de actividades como eficientes e ineficientes [83].

2.2.8 Técnicas de clasificación

Las técnicas de clasificación permiten asociar casos a grupos existentes. El comportamiento de estos algoritmos es similar a los existentes en clustering pero mucho más sencillo en la mayoría de los casos. También, se pueden considerar como técnicas de clasificación a los árboles de decisión, reglas de decisión, redes bayesianas puesto que permiten realizar la misma funcionalidad por lo que se podría considerar su estudio en un mismo apartado, no obstante, se ha optado por separarlo puesto que las técnicas de clasificación básicas no proporcionan la posibilidad de la extracción del conocimiento [82,84,95,98,100,102].

Las técnicas existentes se pueden agrupar en los siguientes tipos en base a la naturaleza de los algoritmos empleados:

- Modelos probabilísticos: Naive Bayes [79].
- Lógica borrosa: K-NN (K-Nearest Neighbours), NN (K-Nearest Neighbours) [85].
- Definición de funciones: Sequential Minimal Optimization (SMO) [81].

A continuación, se describen de modo resumido las diferentes alternativas existentes en el proceso de clasificación.

2.2.8.1 Modelos probabilísticos

Los modelos probabilísticos establecen la probabilidad de pertenencia de un caso a cada uno de los grupos en función los atributos. Se fundamentan en el estudio del valor de cada atributo del nuevo caso con respecto a la frecuencia que aparece en cada uno de los cluster existentes, de modo que se asigna una probabilidad de pertenencia de un elemento a cada una de los grupos. Entre los clasificadores probabilísticos se tiene el clasificador de Naive Bayes [79].

El clasificador de Naive Bayes permite realizar clasificaciones de datos basándose en la aplicación del teorema de Bayes [97-99] expuesto en el apartado. El clasificador de Naive Bayes, permite asociar un determinado elemento a una clase en base a las diferentes características que presenta. No obstante, para realizar dicha tarea, se realiza la suposición de que las características son independientes entre sí [101,102].

De modo muy resumido, se estima la probabilidad de asignar un determinado caso , a cada una de las clases en función de los valores de los atributos. A partir de los valores obtenidos, se asigna a la clase que proporciona el valor máximo.

En diversas pruebas realizadas, cuando se trabaja con un número elevado de variables y un número bajo de casos, el clasificador presenta claras deficiencias en cuanto a lo genérico del modelo. Posee una tasa de acierto muy elevada para los casos con los que se ha entrenado el modelo pero no es capaz de predecir de manera muy correcta casos previos. Se ha testado el modelo en diversos datos de microarrays y si no se han obtenido buenos resultados a la hora de realizar la clasificación de nuevos individuos. No obstante, otras técnicas como los árboles de decisión, tampoco proporcionaban buenos resultados para estos casos, por lo que tampoco se puede descartar como una técnica a usar dentro de un sistema de clasificación de pacientes.

2.2.8.2 Lógica Borrosa

Las técnicas de lógica borrosa son posiblemente las más sencillas e inmediatas de usar. Se fundamentan en el uso de medidas de distancias o matrices de disimilaridad para determinar los casos más similares previamente clasificados. Una vez establecida una jerarquía de similitud con los casos previamente clasificados, se procede a recuperar un determinado número de individuos por orden de similitud. A partir de los individuos recuperados, se estudia la proporción existente de cada uno de los grupos y así se establece el grado de pertenencia del nuevo caso a cada uno de los grupos. Alguno de los algoritmos que siguen esta técnica K-NN (K-Nearest Neighbours) o NN (K-Nearest Neighbours) [56].

2.2.8.3 Definición de funciones

En la actualidad es una alternativa muy extendida dentro de los clasificadores. Consiste en la definición de funciones que permiten separar las diferentes agrupaciones. El caso más simple es la definición de funciones lineales pero el uso de funciones lineales no permite separar cualquier tipo de problema por lo que es necesario aplicar algoritmos que permitan transformar problemas no separables linealmente en problemas que sí lo son. Es por ello por lo que surge Support Vector Machine (SVM) [102]

Support Vector Machine (SVM) es una técnica de aprendizaje supervisado aplicada a la clasificación y regresión de elementos. SVM tiene aplicaciones en diversos campos como son la química, modelado y simulación [101,102] y minería de datos [102]. El algoritmo representa una extensión a los modelos no lineales [82,89,101,102], que inicialmente se desarrolló para la clasificación en problemas separables linealmente y básicamente consistía en encontrar la recta o hiperplano (en más de dos dimensiones) que permitiera separar a los elementos de un conjunto. SVM también permite separar clases de elementos que no son separables linealmente y para ello mapea el espacio de coordenadas inicial en un espacio de alta dimensionalidad mediante el uso de funciones. Debido a que la dimensionalidad del nuevo espacio puede ser muy alta, no es practicable el cálculo de hiperplanos que permiten realizar la separabilidad lineal. Para ello, se usan una serie de funciones no lineales denominadas núcleos que permiten realizar estas operaciones de modo eficiente.

Para el cálculo del clasificador, existen métodos como el Sequential Minimal Optimization (SMO) [81] que permiten calcular de modo eficiente la función clasificadora de modo iterativo. Al permitir el cálculo de modo iterativo facilita la acotación temporal del algoritmo pudiendo acotar temporalmente la solución. El algoritmo SVM se ajusta muy bien a los datos y posee una tasa de acierto muy alta para con el juego de casos de entrenamiento, no obstante, en las pruebas realizadas los resultados no

han sido muy satisfactorios a la hora de realizar clasificaciones en juegos de datos nuevos y los resultados no mejoraban los de otros clasificadores como los árboles de decisión.

Por otro lado, implementaciones como SMO permiten realizar el proceso de modo iterativo facilitando la acotación temporal frente a otras técnicas como los árboles de decisión. Los árboles de decisión necesitan un formateo previo de los datos en caso de trabajar con muchas variables para que el funcionamiento sea eficiente. Es necesario convertir las variables de continuas a discretas y categorizarlas en niveles para que el funcionamiento sea eficiente.

2.2.9 Conclusiones

En este apartado se han visto técnicas que se aplican en las diferentes etapas de un análisis de expresión. Estas técnicas de modo aislado, no proporcionan unos resultados satisfactorios por lo que es necesario aplicarlas en conjunto para la generación de resultados satisfactorios. Por tanto, es necesario incluirlas en un sistema que automatice el proceso facilitando así la realización de los diferentes análisis. La selección de las diferentes técnicas de modo que se pueda predecir la eficiencia de un problema es de gran importancia. Los análisis de expresión se suelen caracterizar por la carga computacional y realizar la selección de planes en base a la selección manual de planes puede resultar muy costoso. Por ello, sería necesario crear un sistema que permita seleccionar flujos de ejecución que permitan de modo automático predecir la eficiencia de planes mediante la selección de las acciones y su ordenación.

2.3 Estadística inferencial

La estadística es la ciencia que se ocupa de los métodos y procedimientos para recoger, clasificar, resumir, hallar regularidades y analizar los datos, siempre y cuando la variabilidad e incertidumbre sea una causa intrínseca de los mismos; así como de realizar inferencias a partir de ellos, con la finalidad de ayudar a la toma de decisiones y en su caso formular predicciones [63].

La estadística inferencial, apoyándose en el cálculo de probabilidades y a partir de datos de una muestra, efectúa predicciones, estimaciones, decisiones, u otras generalizaciones sobre un conjunto mayor de datos. Permite generalizar los datos obtenidos a partir de una muestra a la población de la que proceden. Se basa en la teoría de las probabilidades y trabaja con los datos que le proporciona la estadística descriptiva y nos permite extraer conclusiones de las muestras que son generalizables, es decir, que pueden hacerse extensibles al total de la población [64].

La estadística inferencial se basa en el cálculo de probabilidades y efectúa predicciones estimaciones, decisiones, y otras generalizaciones. Se basa fundamentalmente en la estimación de parámetros y en el contraste de hipótesis. La estimación de parámetros consiste en estimar el valor de una determinada variable en la población (parámetro) utilizando un menor número de observaciones, es decir, una muestra representativa de esa población [64, 65].

Los conceptos estadísticos forman parte del método científico y deben planearse desde el comienzo del estudio y mantenerse hasta el final. Su adecuada utilización permitirá evaluar y cuantificar la variabilidad debida al azar, pudiendo incluso reducirla, con objeto de tener la máxima garantía de alcanzar el objetivo deseado. Pero hay una condición sine qua non para que la estadística sea de utilidad: un buen análisis estadístico comienza con un buen diseño del estudio y una correcta ejecución del mismo, partiendo inicialmente de una pregunta de investigación coherente y adecuada. Un estudio bien

diseñado y pobremente analizado puede solucionarse a través de un segundo análisis estadístico correcto, mientras que un estudio mal diseñado está destinado al fracaso, aunque el análisis sea estadísticamente complejo [64].

La estadística se ha convertido en una herramienta de apoyo fundamental en la investigación, sin embargo, son pocos los investigadores de ciencias de la salud que han recibido una capacitación formal en bioestadística. Es importante no caer en la utilización irreflexiva de la misma; usarla e interpretarla correctamente incrementa la validez de cualquier estudio. La estadística debe utilizarse como apoyo y nunca debe reemplazar al sentido común del investigador [65].

La elección de la prueba estadística más adecuada depende de cada situación en particular y de la capacidad del investigador para justificar su decisión. No es necesario recurrir a pruebas complejas y sofisticadas, de hecho, los resultados más importantes suelen observarse con un análisis sencillo. Las técnicas complejas se utilizan cuando es necesario aislar el efecto de una variable entre otras muchas, en la búsqueda de la máxima información posible, de forma que se pueda controlar y ajustar el efecto de unas variables sobre otras y eliminar la confusión y la interacción entre ellas [63, 64, 65].

El arte de obtener con confianza conclusiones sobre el modo de proceder del fenómeno que se estudia es el objeto de las diversas técnicas existentes de estadística inferencial. La estadística inferencial plantea y resuelve el problema de establecer previsiones y conclusiones generales sobre una población a partir de los resultados obtenidos de una muestra. Los modelos estadísticos actúan de puente entre lo observado (muestra) y lo desconocido (población). Su construcción y estudio están basados en el cálculo de probabilidades [64, 65].

Así pues, la estadística inferencial es la metodología tendente a hacer descripciones, predicciones, comparaciones y generalizaciones de una población estadística a partir de la información contenida en una muestra. Utiliza resultados obtenidos mediante la estadística descriptiva y se apoya fuertemente en el cálculo de probabilidades.

2.4 Competencias de los estudiantes de Odontología

[66]

La formación profesional odontológica de los estudiantes de la Universidad Complutense de Madrid es un proceso educacional de naturaleza dinámico e influido por el avance del conocimiento y el desarrollo de la tecnología, con la finalidad de corresponder a las necesidades de la sociedad una vez finalizado el Grado.

La identificación de un perfil y de unas competencias ha supuesto un reto para la odontología, porque el nuevo egresado tiene que desempeñar con garantías el ejercicio independiente de su profesión. Logrado el acuerdo en lo referente al perfil y a las competencias del dentista en la Unión Europea se consolidó el proceso de conversión de la odontología conforme a la declaración de Bolonia.

El perfil profesional de odontólogo que define la directiva comunitaria 78/687/EC aprobada por el Parlamento Europeo el 25 de Julio de 1978 y vigente en la actualidad (2005/36/CE), es el de un profesional competente para la realización un conjunto de actividades necesarias para la prevención, diagnóstico y tratamiento de las anomalías y enfermedades de los dientes, la boca, los maxilares y los tejidos anexos.

La profesión de odontólogo se basará en la formación odontológica que se contempla en el título de Grado en Odontología, al ser ésta una profesión regulada, habilita para el ejercicio profesional en el sentido de poseer todas las competencias que se mencionan en la Directiva Europea 2005/36/CE, relativa al reconocimiento de cualificaciones profesionales y la Ley 44/2003 de 21 de noviembre de ordenación de las profesiones sanitarias.

Los estudiantes de Odontología una vez que finalicen sus estudios deben tener un profundo conocimiento teórico y comprensión del tema y, haber adquirido las habilidades necesarias para ser capaces de resolver los problemas clínicos que se encuentren, de un modo seguro, independiente y sin ayuda. El profesor está en el deber, más que de transmitir información, estimular

el desarrollo de competencias que garanticen en los estudiantes actitudes autodidactas y que su desempeño sea satisfactorio.

La competencia es la capacidad de un buen desempeño en contextos complejos y auténticos. Se basa en la integración y activación de conocimientos, habilidades, destrezas, actitudes y valores.

El Libro Blanco del Título del Grado en Odontología recoge unas competencias genéricas, que deben ser adquiridas por los estudiantes sin tener en cuenta la titulación que estén cursando.

Los estudiantes de 4º Curso del Grado de Odontología en la asignatura de Patología y Terapéutica Dental II, debe adquirir competencias específicas establecidas por la Asignatura. Destacamos que deberá realizar tratamientos básicos de la patología dental en pacientes adultos. Los procedimientos terapéuticos deberán basarse en el concepto de invasión mínima y en un enfoque global e integrado del tratamiento.

Para el establecimiento del **diagnóstico y plan de tratamiento** el estudiante debe adquirir las siguientes competencias:

- Tomar e interpretar radiografías y otros procedimientos basados en la imagen, relevantes en la práctica odontológica,
- Determinar e identificar los requisitos estéticos del paciente y de las posibilidades de satisfacer sus inquietudes.

Para el establecimiento de un adecuado **tratamiento** el estudiante deberá ser competente en:

- Aplicar técnicas de anestesia loco-regional.
- Preparar y aislar el campo operatorio.
- Valorar y tratar al paciente con caries y ser capaz de utilizar todos los materiales encaminados a restaurar la forma, función y la estética del diente en pacientes adultos.

- Realizar tratamientos endodónticos y aplicar procedimientos para preservar la vitalidad pulpar.
- Realizar procedimientos estéticos convencionales desde una perspectiva multidisciplinar.
- Identificar y corregir hábitos bucales susceptibles de causar o exacerbar maloclusiones.

La evaluación del aprendizaje debe estar en coherencia con los objetivos del programa formativo y con la metodología de enseñanza-aprendizaje. Es muy importante la evaluación de las prácticas clínicas asistenciales y la valoración de las competencias específicas.

La evaluación de las competencias, por lo tanto, no puede realizarse al margen de la del aprendizaje. La evaluación del aprendizaje de los alumnos en la clínica diariamente proporciona al profesor la información necesaria para reforzar individualmente las prácticas evaluando cada fase del tratamiento realizado por el estudiante, y así poder estimular la adquisición de las distintas competencias que tiene como objetivo la asignatura de Patología y Terapéutica Dental II.

HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS



3 HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS

La Hipótesis de este trabajo se puede definir en los siguientes terminos: los Sistemas de Razonamiento Basados en Casos (CBR) y el análisis estadístico inferencial, son ambas, herramientas adecuadas para predecir los factores determinantes en el fracaso de las restauraciones con resina compuesta en el sector posterior, realizadas por estudiantes de 4º curso del Grado de Odontología, mediante el analisis de las variables que influyen en el tratamiento.

Hipótesis Nula: No existen diferencias en las variables que permitan predecir mediante el CBR y la estadística inferencial los fracasos de las restauraciones de resina realizadas por los estudiantes 4º curso del Grado de Odontología.

Los objetivos que se pretenden alcanzar con este estudio son los siguientes:

Objetivo principal:

- Establecer los **factores que influyen** en el fracaso de las restauraciones de resina compuesta en el sector posterior realizadas por estudiantes de 4º Curso del Grado de Odontología.
- **Identificar** los tipos de causas del fracaso aplicando técnicas de Razonamiento Basado en Casos (CBR) y análisis estadístico inferencial.

Objetivo secundarios:

- Comparar la metodología y los resultados del Razonamiento Basado en Casos (CBR) y el análisis estadístico inferencial en la capacidad de predecir el fracaso de las restauraciones con resina compuesta, en el sector posterior, realizadas por estudiantes de 4º curso del Grado de Odontología.
- Comparar los resultados obtenidos mediante las técnicas estadísticas y de inteligencia artificial sobre la relevancia de las variables con la información previamente conocida.
- Realizar comparativa de rendimiento de diferentes técnicas de minería de datos para validar su funcionamiento en las diferentes etapas del CBR.
- Correlacionar la evaluación de las fases del tratamiento y la nota global con el fracaso o éxito de la restauración.
- Identificar la fase del tratamiento con mayor poder predictivo mediante estadística inferencial.

MATERIAL Y MÉTODO



4 MATERIAL Y MÉTODO

Con el propósito de optar al Doctorado Europeo se realizó una estancia de tres meses en la Universidade do Minho. Escola de Engenharia. Departamento de Informática. Braga. Portugal. Desde el 24 de Junio del 2013 al 11 de Octubre del 2013. Dicho estudio se efectuó bajo la dirección del profesor Cesar Anelide Rodrigues. Para el estudio y formación en el área de inteligencia artificial.

El Comité Ético de Investigación Clínica del Hospital Clínico San Carlos en el acta 6.2/14 evaluó el estudio titulado: "Sistema de razonamiento basado en casos y análisis estadístico inferencial en la predicción de fracasos de restauraciones de resina compuesta en sector posterior" informando favorablemente para la realización de la investigación.

Se cumplen los preceptos éticos formulados en la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial sobre principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos y en sus posteriores revisiones, así como aquellos exigidos por la normativa legal aplicable en función de las características del estudio.

4.1 Material

Para la realización de este estudio hemos necesitado:

4.1.1 *Revisión bibliográfica*

Búsqueda bibliográfica, realizada a través de las bases de datos pub-med, Cochrane y compludoc.

Los artículos seleccionados se obtuvieron en la hemeroteca de la Facultad de Odontología de la Universidad Complutense de Madrid, hemeroteca de la universidad de Braga, hemeroteca de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Salamanca.

4.1.2 *Recursos humanos*

- Un odontólogo investigador del estudio.
- Estudiantes de 4 Curso de Odontología. Curso 2011-12, 2012-13 Y 2013-14. Asignatura Patología y Terapéutica Dental II.
- Muestra de pacientes tratados.
- Ingenieros informáticos del Departamento de Informática y Automática de la Universidad de Salamanca.
- Unidad de Apoyo a la Investigación. Servicio de Medicina Preventiva. Hospital Clinico San Carlos. Madrid.

4.1.3 Materiales clínicos

- Equipo dental.
- Material de exploración dental: espejo, sonda y pinzas para exploración.
- Guantes de látex y/o vinilo.
- Mascarillas.
- Aspiradores y jeringa de aire del sillón dental.
- Material radiográfico:
 - Placas radiográficas intraorales.
 - Anillos posicionadores de radiografías.

4.1.4 Material informático

- Cuestionarios I, II, III relativos al estudio. (Anexos).
- Ordenador personal para la recogida de datos en tablas Excel ®.
- Ordenadores del Departamento de Informática y Automática de la Universidad de Salamanca y del Departamento de Informática. Escola de Engenharia. Braga. Portugal. Para el análisis mediante CBR de los datos.
- Los estudios de estadística inferencial fueron realizados en la Unidad de Apoyo a la Investigación. Servicio de Medicina Preventiva. Por la profesora Dra. Cristina Fernandez. Hospital Clinico San Carlos. Madrid.

4.1.5 Muestra del estudio

El estudio se realiza a 81 pacientes, procedentes del servicio central de recepción de la UCM, tratados por los estudiantes de 4º curso de PTD II de la Facultad de Odontología de la Universidad Complutense de Madrid desde Noviembre de 2011 a Mayo de 2014.

La muestra debía cumplir los siguientes criterios:

4.1.5.1 Criterios de inclusión

- Pacientes tratados por estudiantes de la asignatura Patología y Terapéutica Dental II durante las fechas del estudio.
- Pacientes con lesiones 1 y 2 de Mount y restauración con resina compuesta.
- Pacientes adultos, con plenas capacidades para tomar decisiones.
- Compromiso de asistir a revisión.

4.1.5.2 Criterios de exclusión

- Pacientes cuyas historias clínicas cumplieran los criterios de inclusión pero no disponían de todas las variables que se estaban recogiendo.
- Pacientes que rehusaron a colaborar en el estudio.

4.2 Metodología clínica odontológica

El estudio se realizó en la clínica odontológica de la asignatura PTD II, desde Octubre 2011 hasta Mayo 2014.

Certificado de Comisión Ética del Hospital Clínico de Madrid.

En primer lugar, establecido el plan de tratamiento y aprobado por el profesor responsable, el estudiante explicará al paciente, la necesidad de realizar el tratamiento de las caries para restaurar el diente.

El evaluador-investigador explica al paciente que los datos obtenidos en esta revisión formarán parte de un estudio de investigación para la realización de tesis doctoral, explicando los objetivos del trabajo. Los pacientes conformes, firman el consentimiento informado, y a continuación se procederá a rellenar la ficha-historia clínica recogiendo datos clínicos, radiográficos y **las variables** que vamos a analizar una vez que el estudiante ha finalizado el tratamiento. Anexo I y II.

El Odontólogo evaluador, fue el encargado de supervisar el tratamiento, evaluando las cuatro las fases del tratamiento: fase de anestesia, aislamiento, preparación de cavidad y obturación, obteniendo una nota global del tratamiento.

Posteriormente el profesor-evaluador y el estudiante revisaron a los 12 meses el tratamiento ejecutado, rellenando el cuestionario III y retratando la restauración fracasado, siendo supervisado y evaluado por profesor-evaluador.

ANEXO I



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
MADRID

CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN I

DATOS DEL ALUMNO

Fecha de exploración:

Grupo:

Sexo:

Edad:

Profesión:

Estudios:

Familiares Odontólogos:

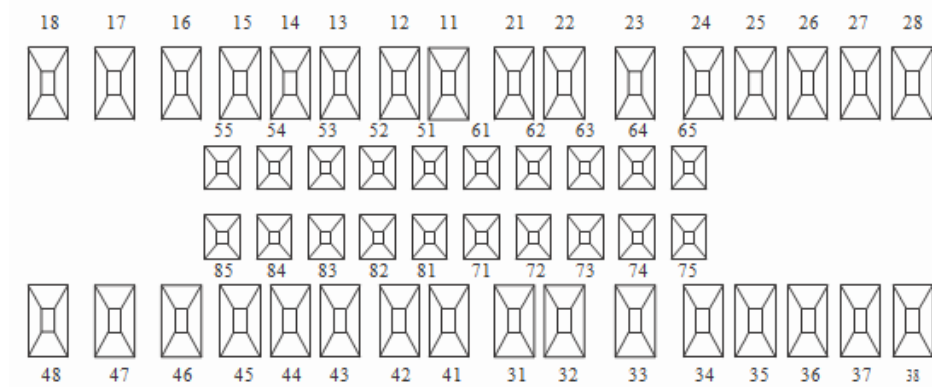
Hobbies:

Nota PTD 1 Endodoncia:

Nota PTD 1 Conservadora:

Número de Obturaciones Previas:

ODONTOGRAMA/ CLASIFICACIÓN DE MOUNT



	Zona 1	Fosas, fisuras y defectos del esmalte en las superficies oclusales de los dientes anteriores, posteriores y otras superficies lisas.
	Zona 2	Esmalte interproximal situado inmediatamente por debajo de los puntos de contacto con los dientes adyacentes.
	Zona 3	Tercio gingival de la corona o, en caso de recesión gingival, raíz expuesta.

EVALUACION 1:

EVALUACION 2:

EVALUACION 3:

EVALUACION 4:

ANEXO II



CUESTONARIO DE EVALUACION II

Nombre del paciente:

ANESTESIA

Hora de Comienzo:

Tipo de Anestesia:

Técnica Empleada:

Tiempo de Espera de Efecto de Anestesia:

Intentos Empleados:

Ayuda del Profesor:

Número de Carpules:

Grado de Anestesia (Bueno/Regular/Malo):

Incidencias:

Hora de Finalización:

AISLAMIENTO

Hora de Comienzo:

Tipo de Aislamiento:

Localización de Piezas Aisladas:

Valoración del Aislamiento (Bueno/Regular/Malo):

Incidencias:

Contaminación con Saliva y/o Sangre (Si/No):

Cambio de Dique (Si/No):

Otras:

Hora de finalización:

CAVIDAD

Hora de comienzo: Pieza Dental:
Profundidad de la Lesión (Muy Profunda/Profunda/Poco Profunda):
Uso de Turbina/ Contra ángulo:
Tipo de Fresa:
Uso de Cucharilla:(Si/No).
Uso de Detector de Caries:(Si/No).
Número de Paredes Afectadas: 1,2,3,4.
Eliminación Total de Caries:(Si/No).
Eliminación Esmalte: (Total/Parcial).
Grado de Dificultad: (Alta/Media/Baja).
Exposición Pulpar: (Si/No).
Uso de Base Cavitaria: (Si/No).
Hora de Finalización:

OBTURACIÓN

Hora de Comienzo:
Tipo de Adhesivo:
Tipo de Grabado:
Tiempo de Grabado:
Uso de Matriz:(Si/No).
Uso de Cuña: (Si/No).
Tipo de Matriz:
Valoración del Encofrado: (Bueno/ Regular/Malo).
Tipo de Composite:
Técnica de Colocación:
Técnica de Incrementación:
Numero de Capas:1,2,3,4,5,6.
Contorneado Anatómico: (Si/ No).
Uso de Turbina/ Contra ángulo:
Tipo de Fresa:

Uso de Discos/ Fresas de Pulido:(Si/No)

Ajuste de Oclusión: (Si/ No).

Hora de Finalización:

Grado de Satisfacción: (Muy Satisfecho/ Satisfecho/ Poco Satisfecho).

Incidencias:

ANEXO III



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
MADRID

CUESTIONARIO DE EVALUACION III

Nombre del alumno:

Fecha de Exploración:

Nombre del Paciente:

Grupo:

Fracaso:

Estudio radiográfico:

Motivo de fracaso:

Fractura de composite:

Fractura de tejido dentario:

Desgaste:(Si/No)

Decoloración:(Si/No)

Filtración: (Si/No)

Hipersensibilidad: (Si/No)

Empaquetamiento de comida: (Si/No)

Inflamación:(Si/No)

Fístula:(Si/No)

4.2.1 Exploración clínica

El estudiante realizará la inspección del diente a tratar para establecer el diagnóstico de caries lesión tipo 1 y 2 de Mount, que será supervisado por el profesor de prácticas.

4.2.2 Exploración radiográfica

Para corroborar la exploración clínica, el alumno procederá a la realización de radiografías de aleta de mordida, con anillos posicionadores mediante la técnica de paralelización que nos ayudará a establecer el plan de tratamiento.

Una vez reveladas, se procederá al estudio de las mismas, revisándose de la siguiente manera:

Las radiografías serán estudiadas por el profesor. La inspección se realizará sin ningún tipo de instrumento de aumento. Se valoraron de mesial a distal y de oclusal a gingival, observando toda la anatomía general de la corona. Evaluando los parámetros contemplados. Las radiografías, se analizan con un orden predeterminado anotando los datos.

Dichas radiografías serán incorporadas a la historia clínica del paciente tras haberse digitalizado, para su incorporación al archivo de este estudio.

Establecemos, una vez concluida ambas exploraciones, un plan de tratamiento para el paciente realizado por el estudiante.

4.2.3 Tratamiento realizado por el estudiante

El protocolo clínico del estudiante, es evaluado durante cada fase clínica (anestesia, aislamiento, preparación cavitaria, obturación) del tratamiento de las lesiones zona I y II, que se compone el estudio por el examinador-profesor.

4.2.3.1 Fase de anestesia

Infiltración de la solución anestésica periapical maxilar o troncular en mandíbula.

4.2.3.2 Fase de aislamiento

La colocación del dique de goma es obligatoria. El dique de goma evita la contaminación y protege a los tejidos gingivales obteniendo un adecuado campo operatorio.

4.2.3.3 Fase de preparación de la cavidad

Eliminación del tejido enfermo, teniendo presente que uno de los principios más importantes dentro de la odontología conservadora es limitar al máximo la remoción de tejido dental sano.

Iniciando la preparación cavitaria, con la remoción de la dentina cariada con instrumentos manuales y terminando la preparación con instrumentos rotatorios, y usando el detector de caries.

Las cavidades se clasifican en función del tamaño, Mount y Hume, consideramos oportuna la realización de una nueva clasificación de caries acorde a los últimos conocimientos sobre el proceso carioso y a los

materiales y técnicas de restauración actuales, la cual hace referencia a la localización de la lesión del tejido enfermo [40, 41, 42].

De este modo explican que las lesiones cariosas pueden aparecer en tres localizaciones diferentes en la corona (Figura 4) coincidiendo con las zonas en las que se acumula la placa bacteriana y las clasifican de la siguiente manera [42]:

- Zona 1: fosas, fisuras y defectos del esmalte en las superficies oclusales de los dientes anteriores, posteriores y otras superficies lisas.
- Zona 2: esmalte interproximal situado inmediatamente por debajo de los puntos de contacto con los dientes adyacentes.
- Zona 3: tercio gingival de la corona o, en caso de recesión gingival, raíz expuesta.

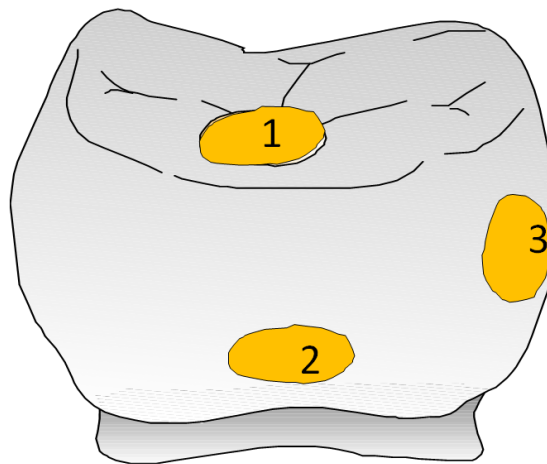


Figura 4. Clasificación de Mount y Hume.

En nuestro estudio, una vez eliminado el tejido enfermo, las cavidades las vamos a clasificar en función del tamaño:

- Cavidades pequeñas, solo afectan al esmalte, y el tratamiento es muy conservador, elimina el tejido enfermo, sin bisel en la cara oclusal, ya que los prismas del esmalte son cortados perpendicularmente y aumenta la retención por el grabado ácido.
- Cavidades medianas, afecta a esmalte y a la dentina en un 25%.
- Cavidades grandes, afectación de esmalte y dentina en el 50%, eliminamos la totalidad del tejido afectado debilitando en gran medida la estructura del diente.

4.2.3.4 Fase de obturación

Colocación de la matriz y de cuñas de madera o transparentes.

El objetivo es el encofrado de la cavidad, para obtener un adecuado ajuste marginal y un punto de contacto. Dependiendo del caso clínico, indicábamos el uso de matriz transparente, metálica sectorial y metálica automatriz.

Adhesión

Esta fase se realiza en correspondencia con el tamaño de la cavidad realizada.

Cavidades pequeñas, utilizamos adhesivos de grabado total, Excite® Soft Touch Single Dose.

Cavidades medianas y grandes, utilizamos adhesivos de autograbado, Futurabond NR VOCO®. Siguiendo las normas e instrucciones del fabricante.

Obturación y polimerización.

La obturación de la cavidad se realiza siguiendo una metodología convencional incremental.

La resina debe ser insertada en incrementos laminados y sucesivos para asegurar la polimerización apropiada y prevenir la contracción, de esta forma se mejora la adaptación marginal, reduciendo la filtración marginal, disminuye la deformación cuspídea y hace a las cúspides más resistentes a la fractura.

La polimerización se realiza en cada incremento y tiempo adecuado al tipo de lámpara.

Acabado y pulido.

El estudiante procede al acabado de la restauración utilizando las fresas diamantadas de punta fina, de balón de rugby y de carburo de tungsteno, según la superficie a recortar.

Finalmente procederá al pulido, empezando por las crestas marginales utilizando discos y tiras de grano diferente; en la cara oclusal utilizará copas y gomas de silicona.

Chequeo de la oclusión.

El ajuste de la oclusión se realiza con papel de articular de 5 micras.

4.2.4 Revisión anual del estudio

Los pacientes son citados a los 12 meses para la evaluación clínica: inspección y radiografía intraoral de la obturación perteneciente a nuestro estudio. Anexo III.

El protocolo que seguiremos en los fracasos de las restauraciones evaluadas, será proceder al retratamiento siguiendo la sistemática clínica determinada anteriormente.

4.3 Metodología del Sistema de Razonamiento Basado en Casos (CBR)

Este trabajo ha sido realizado en colaboración con el Departamento de Informática y Automática de la Facultad de Informática de la Universidad de Salamanca y la Universidade do Minho. Escola de Engenharia. Departamento de Informática. Braga. Portugal.

En este trabajo se muestra un CBR que presenta la fase de recuperación adaptada a las características de los problemas de la bioinformática en el que el principal problema es el número de variables en lugar del número de casos.

Se procedió a realizar un estudio estadístico de dependencia mediante un test de la ji cuadrado, en frecuencias esperadas menores que 5 el resultados puede no ser correcto por lo que se aplicó una corrección de Yates para intentar mitigar este aspecto.

También aplicamos una simulación de Monte Carlo para verificar los resultados. Finalmente también se aplica un test exacto de Fisher.

Una vez identificadas las variables asociadas al fracaso, datos obtenidos de los casos realizados por los estudiantes del grado en Odontología entran a formar parte de la base de datos del CBR.

Un CBR es un sistema de aprendizaje incremental puesto que cada vez que se resuelve un problema, es posible crear un nuevo caso y almacenarlo en la memoria del CBR para su posterior utilización.

La intervención humana es necesaria en muchas situaciones durante el ciclo de vida de un CBR, especialmente en sus dos últimas fases. La revisión y la retención de casos se realizan normalmente por profesionales especializados; lo que supone uno de los mayores inconvenientes de esta metodología y que se señala como un gran inconveniente por sus detractores.

A continuación, se describen cada una de las fases que componen el ciclo de vida de un sistema de Razonamiento Basado en Casos.

4.3.1 Recuperación

Durante la recuperación se tomaron aquellas variables que se consideraron relevantes para el caso de estudio posteriormente durante la fase de adaptación se usaron diferentes clasificadores con el objetivo de validar estadísticamente la diferencia entre la propuesta de filtrar variables o no [81-85].

La fase de recuperación del sistema de razonamiento se realizó aplicando test estadísticos. A diferencia de los mecanismos tradicionales de recuperación, en lugar de recuperar casos relevantes al nuevo problema se recuperaron las variables relevantes de la base de casos. Estas variables cambiaban a medida que se van incorporando nuevos casos al sistema durante la fase de revisión.

El objetivo de esta fase fue extraer los casos, almacenados en la memoria del CBR, más similares al problema que se deseó solucionar. Esta fase se dividió en tres etapas, siendo normalmente llevadas a cabo en el siguiente orden [77-79]:

1. Identificación de figuras: Se identificaron las características que definen un problema [84, 85].
2. Comparación inicial: Se seleccionaron aquellos casos que eran significativamente similares al problema presente utilizando un conjunto de reglas predefinidas [84,86].
3. Búsqueda y selección: Durante esta etapa se determinó el caso (o un grupo reducido de casos) más similar al problema presente, por el que

se empezó a definir la solución final. Dicho caso se extrajo de la selección preliminar hecha en la fase anterior [84,88].

Otro asunto importante que tuvimos en consideración antes de implementar una estrategia de recuperación de casos fue el decidir si los casos tienen que adaptarse. Esto fue fundamental para identificar una estrategia adecuada de aproximación y conocer así el número adecuado de casos que se deben recuperar [80- 84].

4.3.2 Reutilización

La fase de reutilización incorporó diferentes clasificadores en los que se analizaron el rendimiento de modo estadístico mediante la incorporación de diferentes test [84,86].

En la fase de reutilización se estudian las diferencias entre el caso o casos seleccionados en la etapa anterior y el problema presente. A lo largo de esta sección se estudian cuales son las características de los casos recuperados que pueden trasladarse al presente problema [86,87].

En la etapa de reutilización se aplicaron simplemente diferentes clasificadores a partir de las casos almacenados, pero sólo se tuvieron en cuenta las variables consideradas relevantes.

4.3.3 Revisión

La fase de revisión y el proceso de validación se realizan aplicando test estadísticos en función del tipo de las variables [84].

En esta fase la solución propuesta por la etapa anterior se examinó minuciosamente. Si la solución fué aceptada se puede utilizar durante el aprendizaje [87].

Durante la etapa de recuperación se analizó la capacidad de predicción de los clasificadores en función del filtrado previo.

4.3.4 Retención

Durante esta fase se identificaron los aspectos que se pudieron aprender o memorizar y por tanto incluir en la memoria de un CBR. Los algoritmos de aprendizaje tuvieron en cuenta los resultados de la fase anterior. Las tareas más importantes que se realizaron durante esta etapa fueron [88-94]:

1. Selección de la información contenida en los casos en que debe memorizarse.
2. Definición de cómo debió almacenarse dicha información.
3. Establecimiento de los mecanismos de indexación del nuevo problema para así poder reutilizarlo en un futuro.
4. Definición de la forma de integrar el nuevo caso en la estructura de la memoria.

Los CBR son sistemas dinámicos en los cuales la memoria debe modificarse continuamente [94-97].

La actualización de la memoria es el paso final de esta fase. El aprendizaje se realizó por medio de la integración de varios casos [97-102]:

En la etapa de aprendizaje se fueron incorporaron los nuevos casos a medida que se conoció la clasificación final real y no predicha.

4.4 Metodología análisis estadístico inferencial

Las variables cualitativas se presentan con su distribución de frecuencias. Las variables cuantitativas se resumen en su media y desviación estándar (DE) o mediana y rango intercuartil (RIQ) en caso de asimetría.

Se evaluó la asociación entre variables cualitativas con el test de χ^2 o prueba exacta de Fisher, en el caso de que más de un 25% de los esperados fueran menores de 5. En el análisis univariable, se estimaron las magnitudes de asociación con las odds ratios (OR) junto a sus intervalos de confianza al 95% (IC95%).

Las puntuaciones obtenidas por los alumnos se contrastaron con el test de la mediana y se evaluó su capacidad predictiva de resultado con las curva de rendimiento diagnóstico (COR) global y por fases del procedimiento. Se evaluaron estadísticamente con las áreas bajo la curva y sus IC95%.

Se ajustó un modelo de regresión logística para evaluar los factores asociados a la probabilidad de fracaso de las restauraciones de resina compuesta. Se seleccionaron las variables que en análisis univariable fueron significativas o biológicamente relevantes. Los parámetros del modelo logístico jerárquico ajustado se estimaron con el método de máxima verosimilitud. Se evaluó la existencia de interacciones. Se presentan las “odds ratio” ajustadas junto a sus intervalos de confianza al 95%. Se obtuvo la curva de rendimiento diagnóstico (COR) y se evaluó estadísticamente con el área bajo la curva y su IC95%.

En todos los casos se comprobó la distribución de la variable frente a los modelos teóricos y se contrastó la hipótesis de homogeneidad de variancias.

En todos los contrastes de hipótesis se rechazará la hipótesis nula con un error de tipo I o error α menor a 0.05.

Los paquetes estadísticos utilizados para el análisis fueron SPSS para Windows versión 15.0.

RESULTADOS



5 RESULTADOS

5.1 Resultados aplicación CBR

Los resultados obtenidos y mostrados en el presente estudio, son representativos de los pacientes que acuden a la Clínica de Estomatología II de la Facultad de Odontología de la Universidad Complutense de Madrid, buscando una solución a sus problemas de salud bucodental. La muestra además, tiene la característica de acudir voluntariamente a la clínica del Departamento de Estomatología II.

Los resultados de la cohorte de alumnos de cuarto curso del Grado de Odontología evaluados fueron 81, con una edad media de 22,1 años. Cuarenta alumnos (49,4%) eran del curso 2011-2012 y 41 (50,6%) en el curso 2012-2013.

Los pacientes tratados durante la evaluación fueron 53 (65,4%) mujeres y 28 (34,6%) hombres con edades comprendidas entre los 26 años y los 77 años. La edad media de los pacientes fue de 55,5 años (Desviación Estandar 13,6) y todos cumplían los criterios de inclusión establecidos previamente.

Los casos seleccionados tenían toda la información necesaria para completar las variables consideradas. Dichas variables contemplan toda la información relevante al paciente, su historia médica, dental, sus hábitos y costumbres; pero además se valoraban datos relativos al estado previo del diente, su morfología, la técnica clínica utilizada y los resultados posteriores. De esta manera se contemplan el mayor número de variables capaces de influir en el éxito o fracaso del tratamiento restaurador realizado por los estudiantes del Grado de Odontología.

A partir de los datos descritos se realizó un estudio de las causas de éxito y fracaso, se elaboró un sistema de predicción sobre los tratamientos llevados a cabo sobre los pacientes.

El análisis de las causas realizado mediante un test estadístico, facilitó el estudio de predicciones automáticas realizadas por un sistema CBR por parte de un experto.

El análisis de los datos y la definición del sistema de predicción se realizaron de modo progresivo. En una primera etapa se llevó a cabo un preprocesado de los datos que consistió en un análisis de los datos disponibles para proceder a recodificar las variables y así permitir un resultado final óptimo. Posteriormente, se efectuó una comparativa de rendimiento del sistema de predicción basado en un CBR modificando las técnicas aplicadas durante la fase de adaptación. Finalmente se analizaron diferentes técnicas de clasificación para diferenciar la relevancia de los falsos positivos y los falsos negativos.

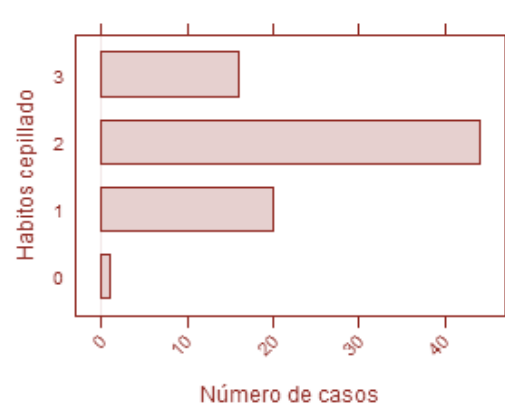
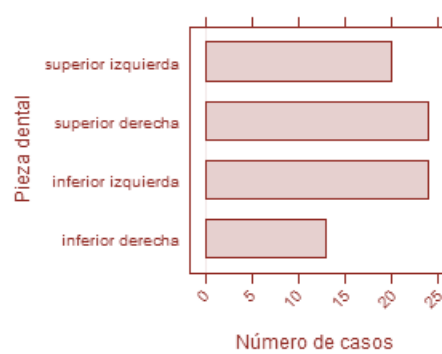
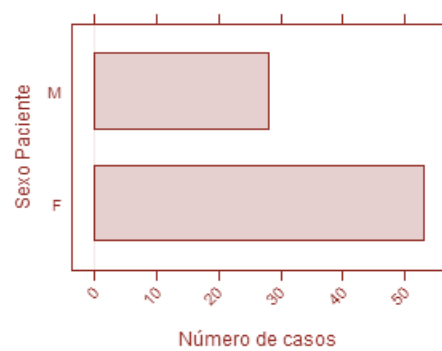
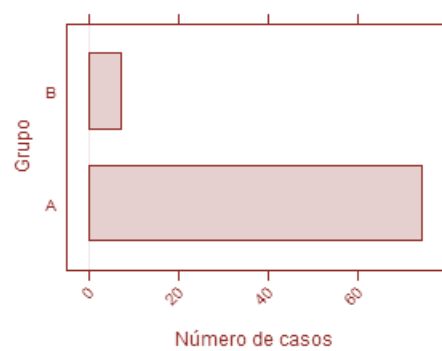
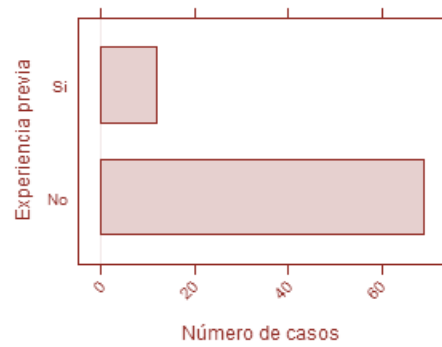
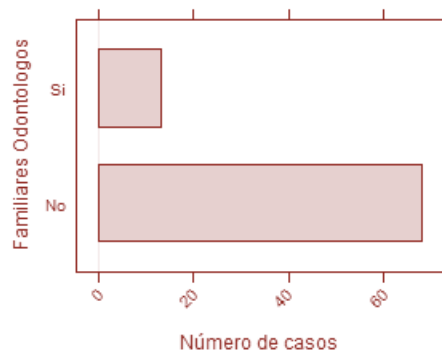
5.1.1 Análisis visual de los datos

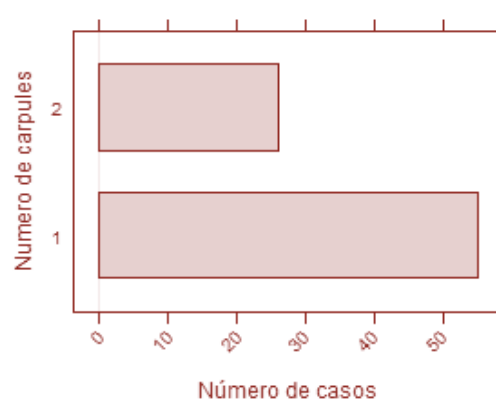
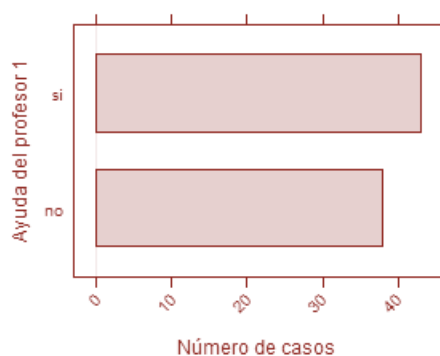
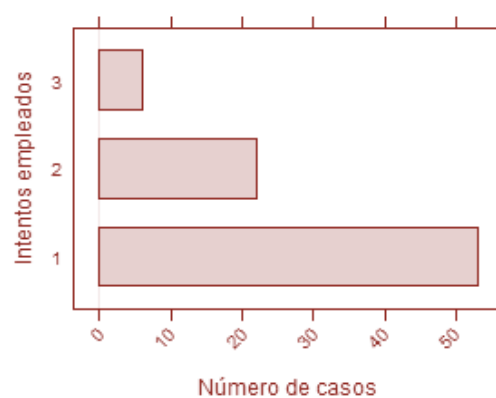
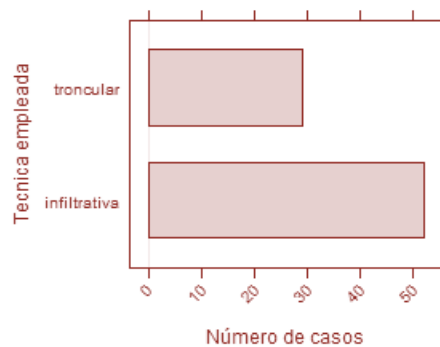
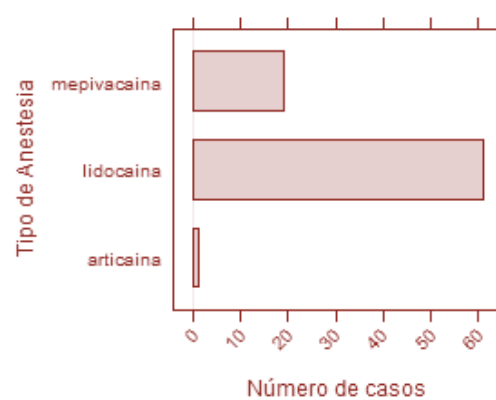
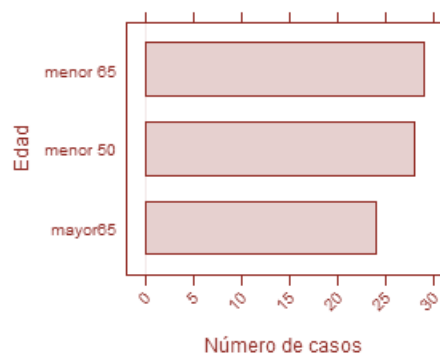
Como primer paso, previo análisis de los datos se determinaron las características de las variables. La observación directa de las variables es de importancia para determinar las características del problema que se pretende analizar y determinar posibles problemas en los datos, de los que dispone. Mediante la observación directa de las variables es posible determinar errores tipográficos que implicarían la aparición de diferentes categorías con frecuencias bajas. Además, es necesario evitar la existencia de un número alto de categorías por variables para que la aplicación de test estadísticos tenga mayor significabilidad.

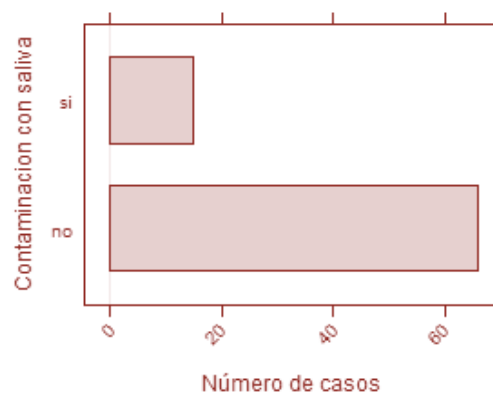
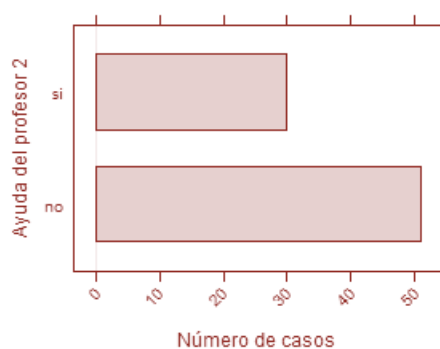
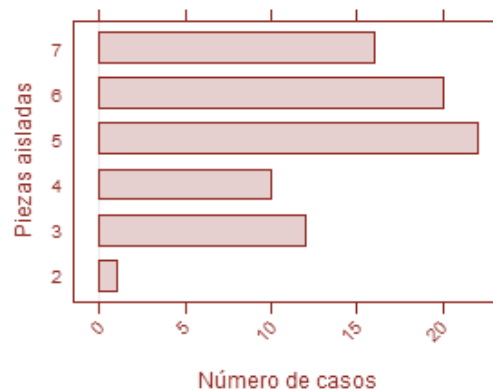
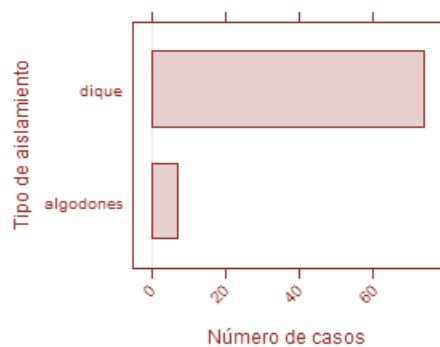
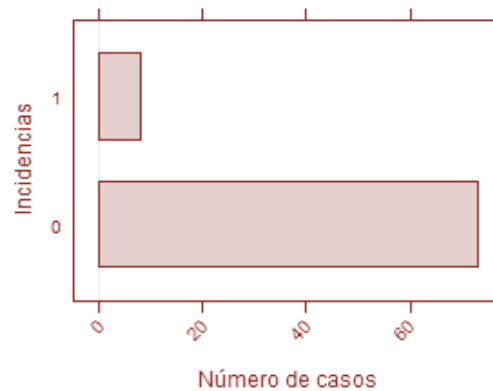
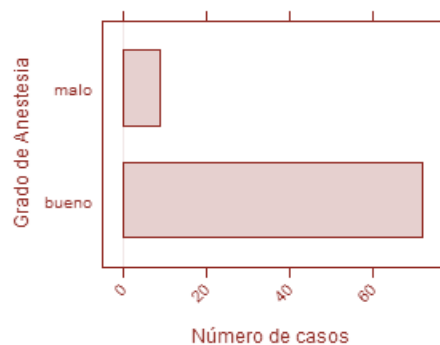
Inicialmente determinadas variables poseían un número de categorías muy alto por lo que se procedió a realizar una recodificación de las mismas para conseguir el que el número de categorías finales por variable estuviera entorno a 3 ó 4 valores diferentes. Para las variables continuas se aplicó una recodificación basada en cuantiles para crear una distribución homogénea de los valores.

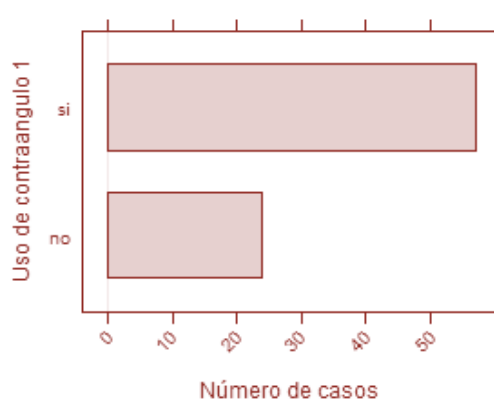
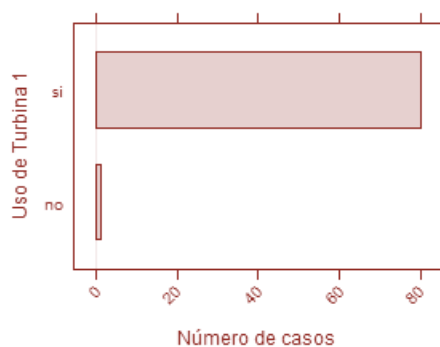
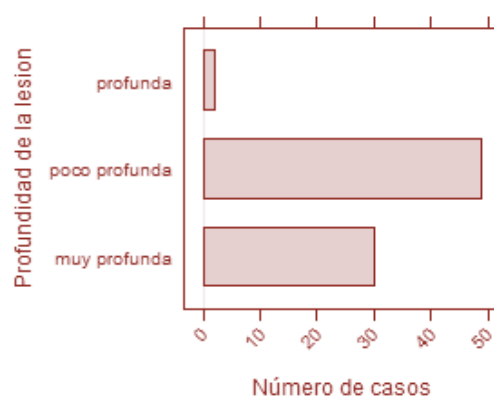
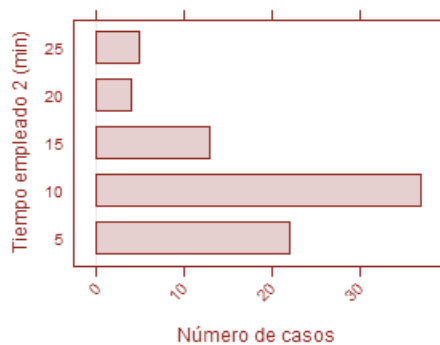
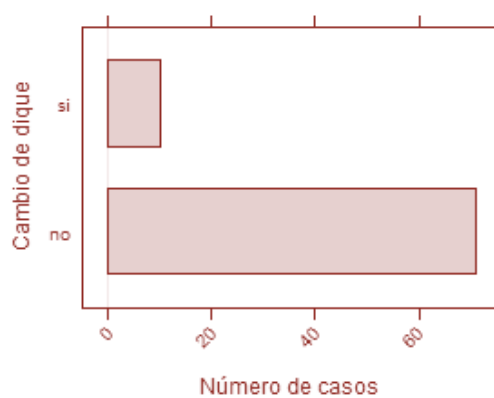
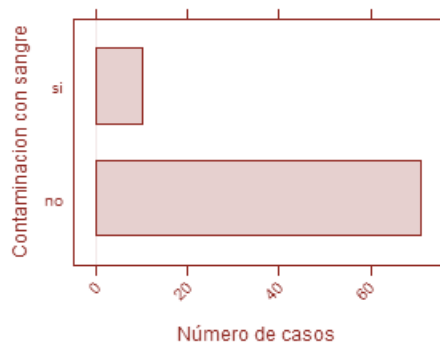
Resultados referentes a la frecuencia de las diferentes categorías para cada una de las variables (Figura 5).

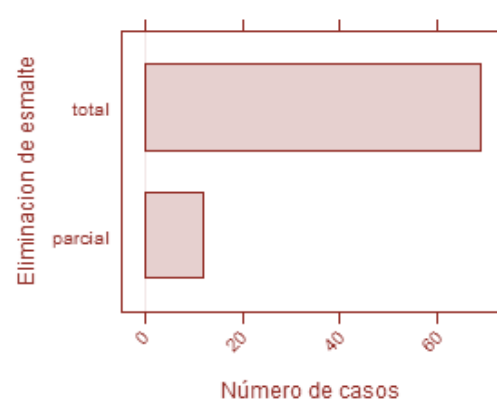
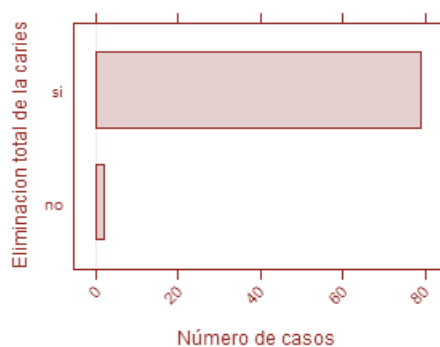
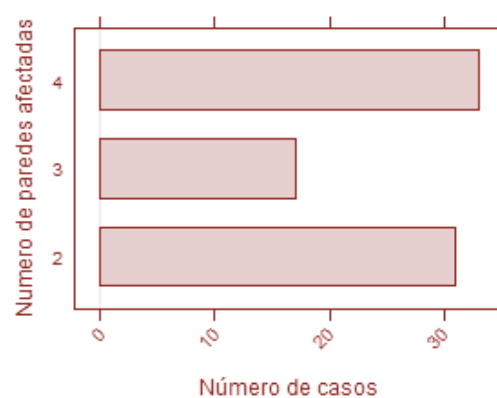
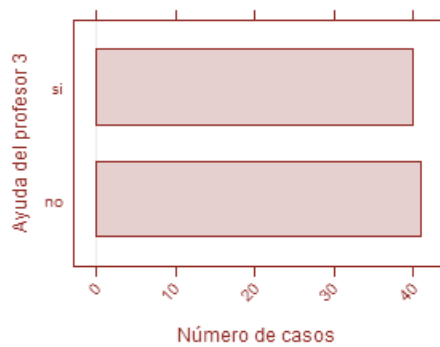
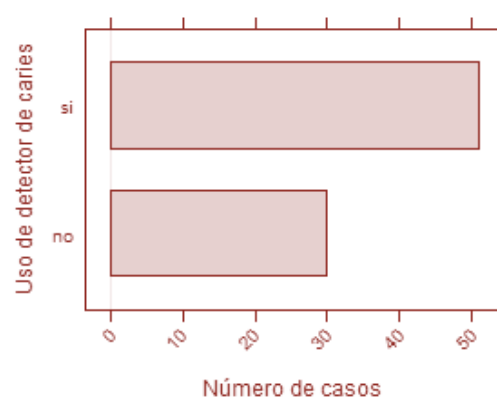
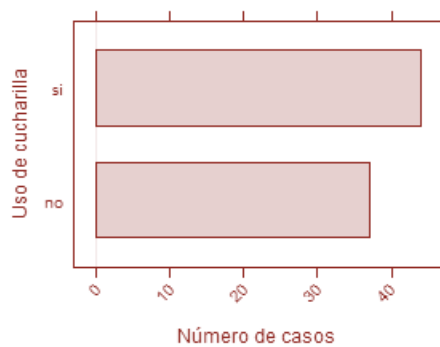
De forma muy rápida se pudo realizar una verificación de las variables y comprobar que no se necesitan nuevas recodificaciones de las variables ya que el número de categorías no es muy elevado para el número de datos de los que se dispone.

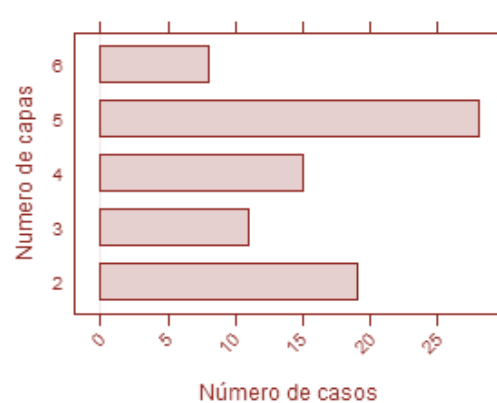
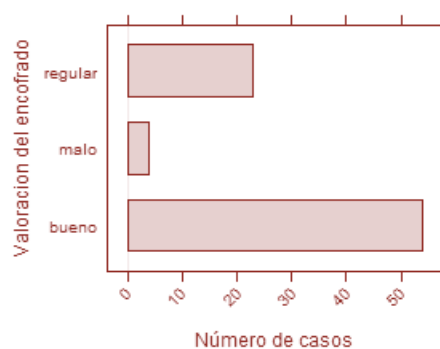
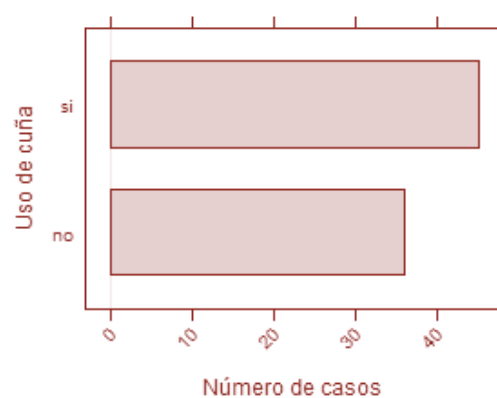
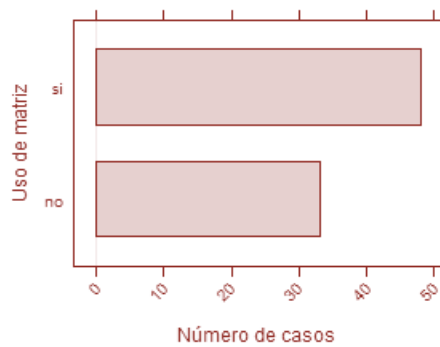
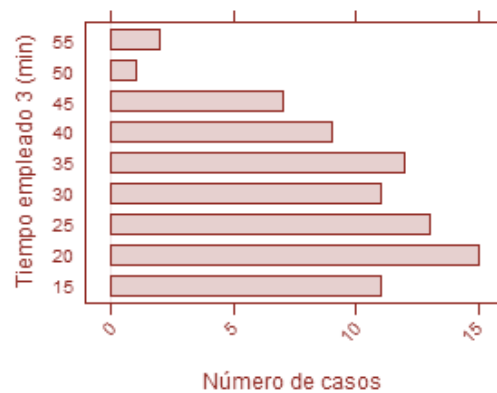
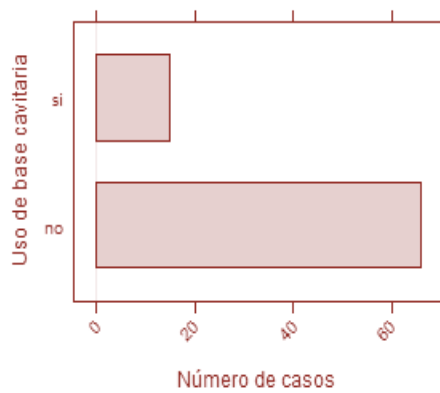


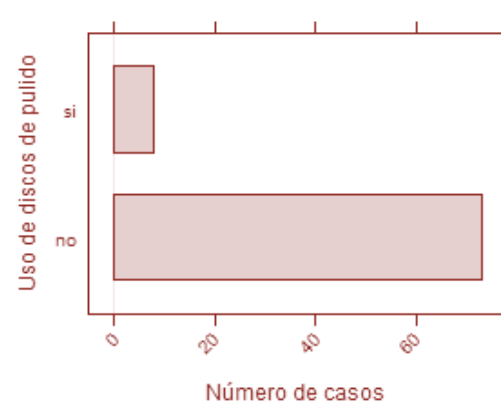
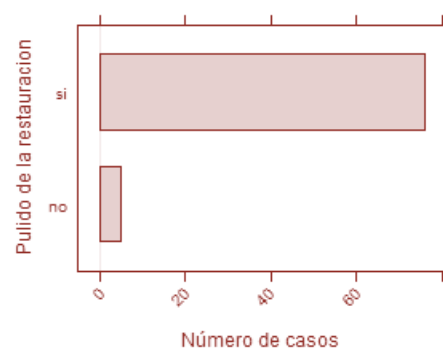
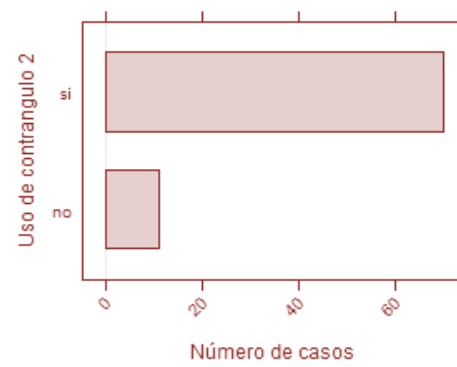
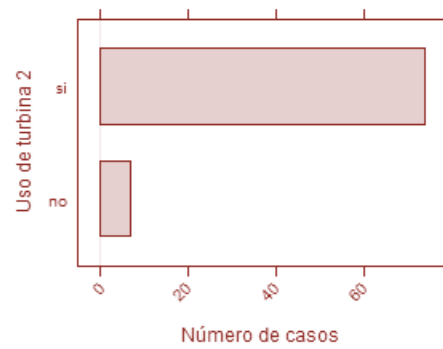
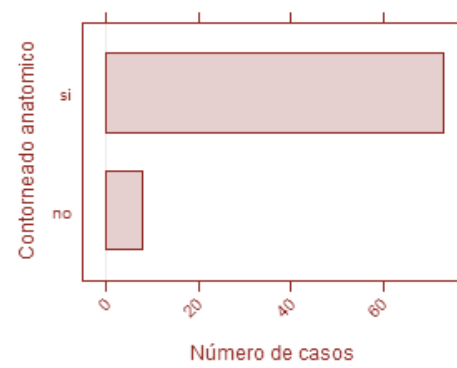
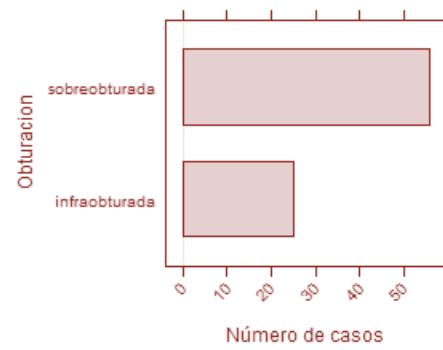


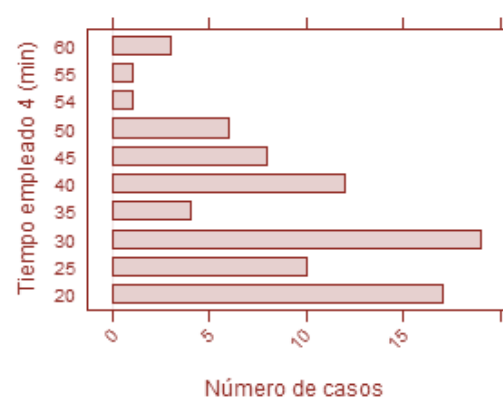
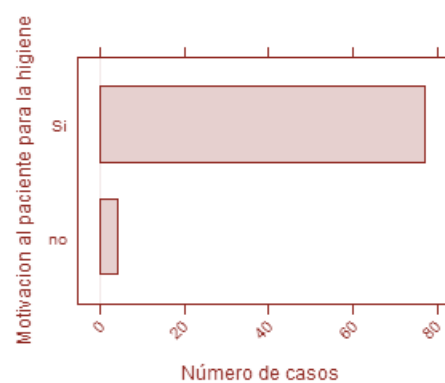
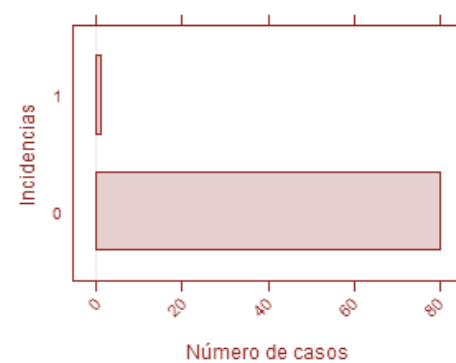
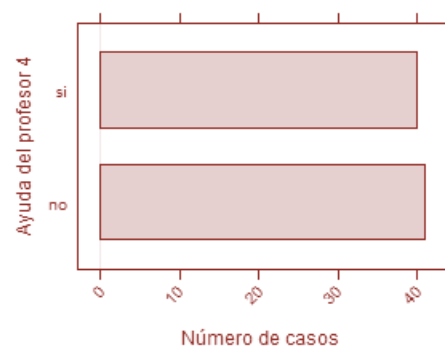
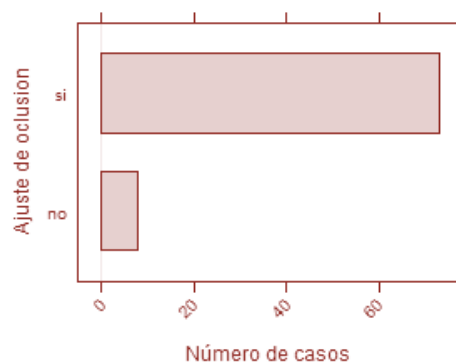
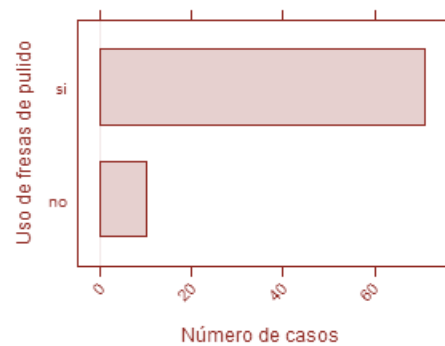












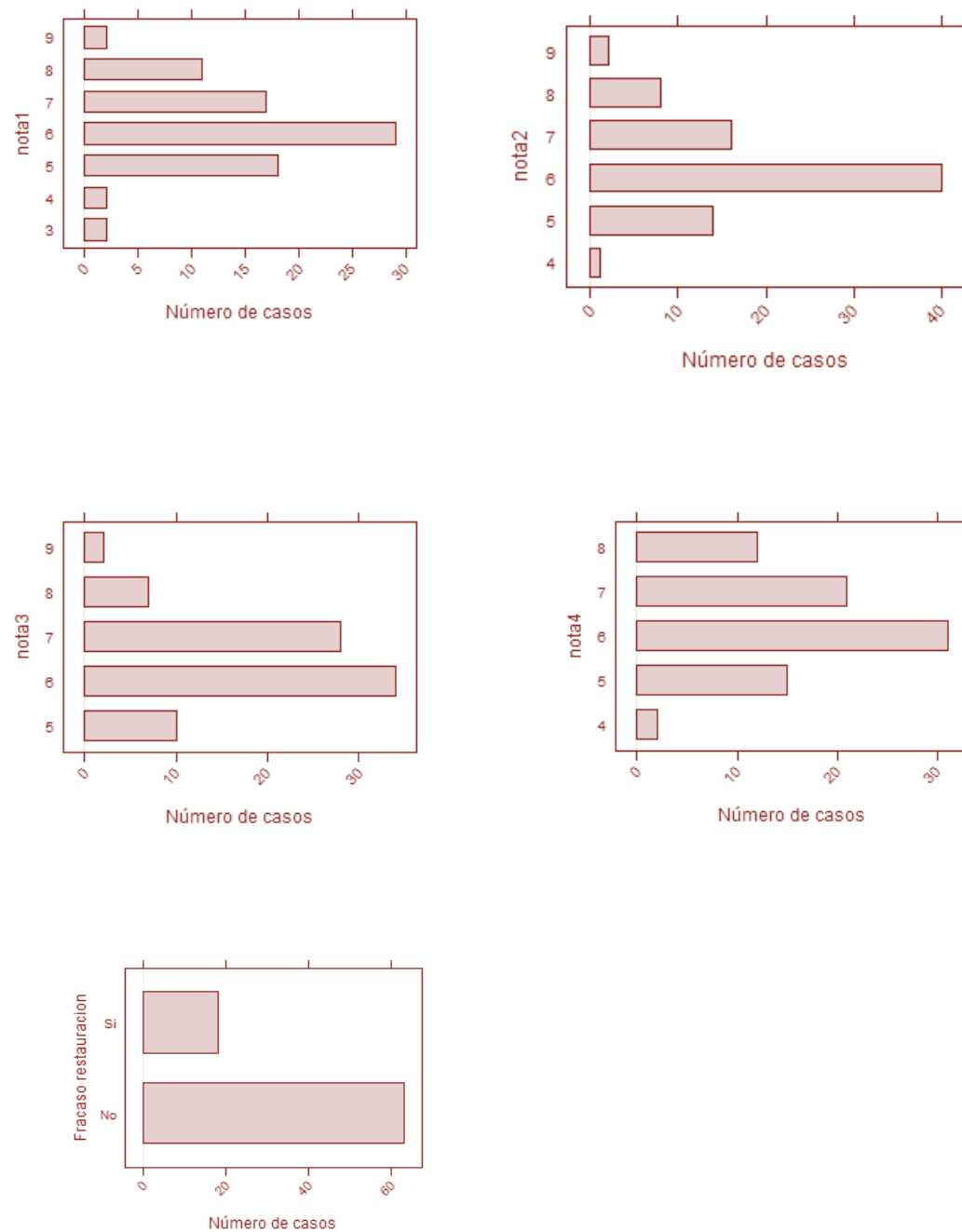


Figura 5. Número de casos por categoría en las variables estudiadas

Una vez efectuado un análisis visual de los datos se procedió al análisis de dependencia de la variable se estudio el éxito o el fracaso con el resto de las variables. En caso de obtener resultados negativos significaría que muy posiblemente no sería posible realizar un sistema de predicción si no se determinaran dependencias de la variable en estudio con el resto.

5.1.2 Análisis estadístico de dependencia

Para llevar a cabo este análisis se procedió a realizar un estudio estadístico de dependencia mediante un test de la ji cuadrado.

Hay que tener en cuenta que para que los resultados que las frecuencias esperadas son menores que 5 el resultados puede no ser correcto por lo que se aplica un corrección por Yates para intentar mitigar este aspecto.

Además, se proporcionan también los resultados estadísticos de la ji cuadrado aplicando la simulación de Monte Carlo para verificar los resultados. Finalmente también se aplica un test exacto de Fisher que sería el método recomendado cuando el tamaño de la muestra sea pequeño.

Para ambos test la hipótesis nula es H_0 : las variables son independientes. En la tabla se han representado en rojo los valores que son inferiores a la significación 0.1. Tal y como se puede ver, los resultados son muy similares para los diferentes test aplicados (Tabla 1.) Las variables asociadas a los valores serán las que permitan realizar una clasificación correcta, lo importante es determinar cómo se pueden combinar las variables para poder predecir el resultado final.

Tabla 1. Análisis de dependencia de las variables

Variable	P valor		
	Ji Cuadrado		Test Exacto de Fisher
	Yates	Monte Carlo	
Familiares Odontólogos	0,65635305	0,46926537	0,47119274
Experiencia previa	1	1	0,72351455
Grupo	0,31537471	0,21189405	0,33900207
Sexo Paciente	0,33313578	0,24687656	0,26854765
Pieza dental	0,45040599	0,46376812	0,45577211
Hábitos cepillado	0,00043681	0,0009995	0,00049975
Edad paciente	0,00042462	0,0008765	0,00046532
Tipo de anestesia	0,62547314	0,64117941	0,64067966
Técnica empleada	0,97529309	0,7886057	0,78534379
Intentos empleados	0,57745191	0,62518741	0,53123438
Ayuda del professor 1	0,57187231	0,43428286	0,43446523
Numero de carpules	0,87365348	0,76861569	0,77883103
Grado de Anestesia	0,67068357	0,67966017	0,40831845
Incidencias	0,12288437	0,07496252	0,0684388
Tipo de aislamiento	1	1	0,64827633
Piezas aisladas	0,1228843	0,11744128	0,11144428
Ayuda del professor 2	0,51848205	0,4137931	0,4175487
Contaminación con saliva	0,0041469	0,00449775	0,00341856
Contaminación con sangre	0,29921464	0,22288856	0,21739453
Cambio de dique	0,00051001	0,0009995	0,00071994
Tiempo empleado 2 (min)	0,63496721	0,66966517	0,66866567
Profundidad de la lesión	0,15726009	0,14492754	0,16241879
Uso de Turbina 1	1	1	1
Uso de contraángulo1	0,92228973	0,78710645	0,7721448
Uso de cucharilla	1	1	1
Uso de detector de caries	0,00747317	0,00349825	0,00514516
Ayuda del professor 3	0,07005183	0,05697151	0,05995143
Numero de paredes afectadas	0,07440255	0,05947026	0,06746627
Eliminación total de la caries	0,06907714	0,03798101	0,04722222
Eliminación de esmalte	0,07902986	0,07846077	0,10044978
Uso de base cavitaria	0,20717312	0,16741629	0,17013231

Tiempo empleado 3(min)	0,2991014	0,29735132	0,30384808
Uso de matriz	1	1	1
Uso de cuña	1	1	1
Valoración del encofrado	0,12288437	0,05997001	0,0684388
Numero de capas	0,03304064	0,02498751	0,02139448
Obturación	0,58477137	0,57071464	0,40282849
Contorneado anatomico	0,80348815	0,68615692	0,67679447
Uso de turbine 2	0,95785737	0,68515742	1
Uso de contraángulo	1	1	1
Pulido de la restauración	0,12297669	0,07746127	0,07005793
Uso de discos de pulido	0,12288437	0,07796102	0,0684388
Uso de fresas de pulido	0,82145183	0,66316842	0,68454254
Ajuste de oclusión	0,00365306	0,00449775	0,00599713
Ayuda del professor 4	0,07005183	0,06646677	0,05995143
Incidencias	1	1	1
Motivación al paciente para la hygiene	0,168350101	0,25496354	0,23247676
Tiempo empleado 4 (min)	0,17358146	0,15842079	0,23088456
Nota 1	0,0002088	0,00049975	0,00049975
Nota 2	0,01048898	0,00849575	0,0129935
Nota 3	3,58E-05	0,00049975	0,00049975
Nota 4	8,52E-06	0,00049975	0,00049975

Para ver la influencia de las variables anteriores se representó gráficamente la información de las tablas de contingencia de cada variable con respecto a la variable éxito o fracaso (Figura 6). Por ejemplo, si se observa la variable Hábitos cepillado, se puede ver que en caso de que para la gente con hábitos de cepillado de la categoría 3 no terminan en fracaso.

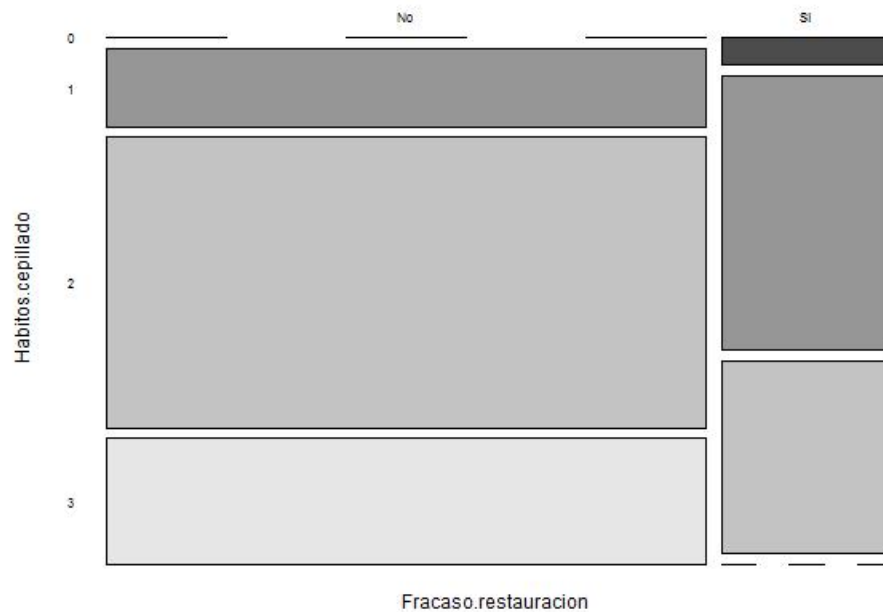
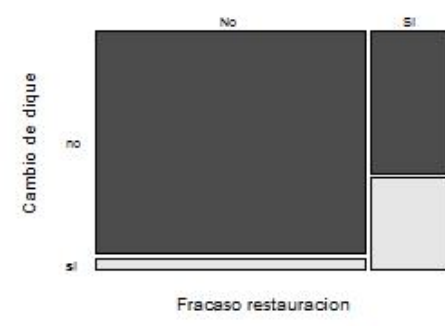


Figura 6. Gráfico de mosaico para la variable hábitos de cepillado y fracaso de la restauración

La tabla de contingencia mostrada a continuación, proporciona una información similar pero menos visual. Se puede ver que para el hábito 3 no se tienen 0 fracasos.

	NO	SI
0	0	1
1	10	10
2	37	7
3	16	0

A continuación se muestran gráficamente los resultados de las tablas de contingencia (Figura 7). De forma rápida y visual se puede comprobar la relevancia de las variables detectadas como importantes en la tabla anterior.



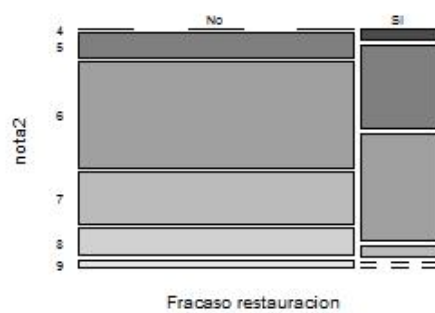




Figura 7. Gráficos de mosaico para las variables dependientes con respecto al fracaso de las restauraciones de resina compuesta.

Las variables independientes asociadas a predicción de fracaso fueron, en las variables asociadas al paciente, los hábitos de cepillado y la edad, y las variables pertenecientes al tratamiento, la contaminación con saliva y/o sangre, el uso de detector de caries, el número de capas y el ajuste de la oclusión.

5.1.3 Modelo de predicción del CBR

Una vez efectuado un estudio sobre la relevancia de las variables seleccionadas se procedió a la realización de un análisis sobre la funcionalidad del sistema CBR. Durante la fase de recuperación se procedió a realizar una selección de los casos de interés del problema estudiado; con esta circunstancia se corresponden los casos para los que se ha aplicado tratamiento.

Posteriormente se realizó un estudio de las capacidades de predicción de diferentes técnicas a integrar en el sistema CBR. Se realizó un test aplicando las técnicas MultilayerPerceptron, MultiClassClassifier, BayesNet, NaiveBayes, AdaBoostM1, Bagging, DecisionStump, J48, IBk, JRip, LMT, Logistic, LogitBoost, OneR, SMO durante la fase de reutilización.

En la tabla 2 se muestra el número de aciertos obtenido para cada uno de los métodos aplicando la técnica de leave one out sobre el sistema CBR. Observamos que para el clasificador NaiveBayes la tasa de acierto del sistema fue del 89%, índice Kappa es de 0.714 lo que indica que tiene un grado de acuerdo bueno y es realmente el índice a relevante puesto que tiene en cuenta el número de elementos que hay por categoría en la variable a clasificar.

Tabla 2. Aciertos, porcentaje e índice Kappa para los diferentes clasificadores analizados en el CBR

Clasificador	Acierto	Porcentaje	Kappa
MultilayerPerceptron	65	79.268.293	0.4705882
MultiClassClassifier	70	85.365.854	0.6425993
BayesNet	67	81.707.317	0.5367647
NaiveBayes	73	8.902.439	0.7142857
AdaBoostM1	66	80.487.805	0.4747082
Bagging	64	7.804.878	0.4476534
DecisionStump	45	54.878.049	0.1518325
J48	61	74.390.244	0.3382353
IBk	69	84.146.341	0.6029412
JRip	55	67.073.171	0.1397059
LMT	69	84.146.341	0.630137
Logistic	70	85.365.854	0.6425993
LogitBoost	65	79.268.293	0.4705882
OneR	68	82.926.829	0.4608295
SMO	64	7.804.878	0.4046693

En base a los resultados anteriores se procedió a realizar una representación mediante curvas ROC. Las curvas de ROC facilitan el análisis de diferentes clasificadores en función del área que representan bajo la curva. Cuanto mayor sea el área mejor es el clasificador. Tienen como principal ventaja que permiten diferenciar la relevancia de los falsos negativos frente a los falsos positivos. En este caso, se interpreta como positivo un éxito en el tratamiento.

En la figura 8 se muestra la curva ROC y el área bajo la curva ROC para cada uno de los métodos con el resultado final obtenido, tal y como se puede ver, en la tabla 3 el resultado para NaiveBayes aunque otros clasificadores como MultiClassClassifier, LMT y logistic con peor porcentaje de acierto tienen área similar debido que presentan más errores pero poseen menos falsos negativos. LMT es el que presenta mejores resultados cuando se quiere evitar falsos negativos.

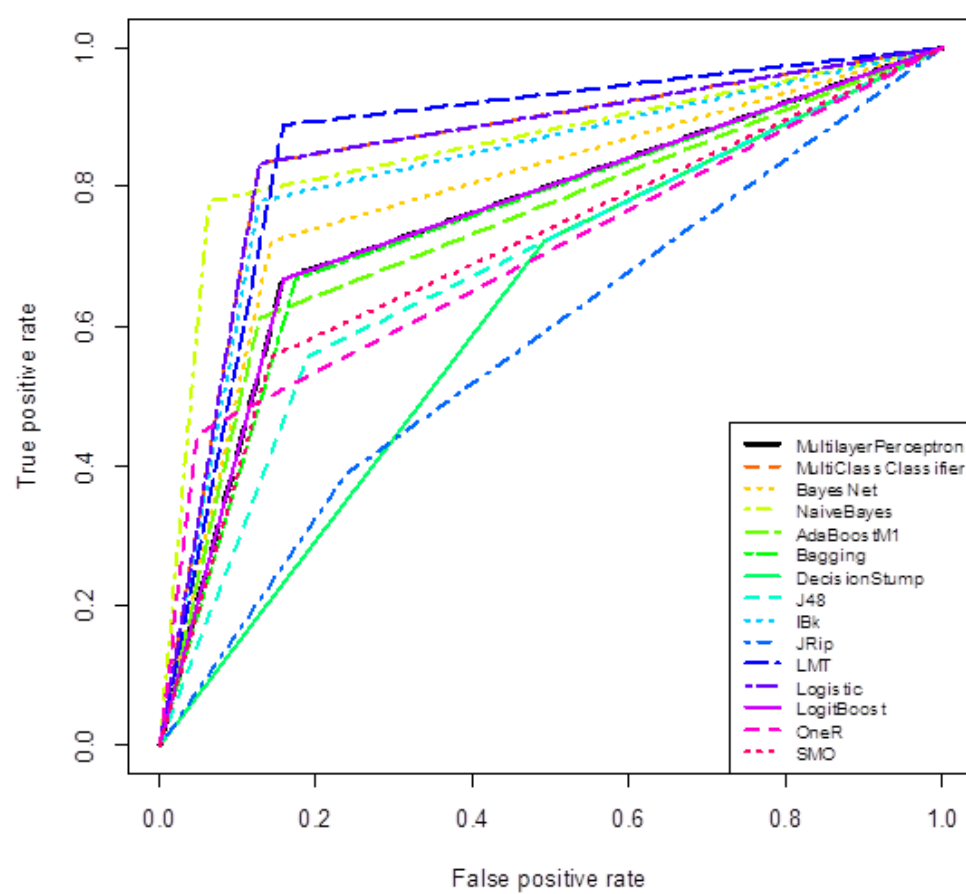


Figura 8. Curvas ROC en base a la predicción

Tabla 3. Área bajo la curva ROC en base a la predicción

Clasificador	Área curva ROC
MultilayerPerceptron	0.7539683
MultiClassClassifier	0.8531746
BayesNet	0.7896825
NaiveBayes	0.8571429
AdaBoostM1	0.7420635
Bagging	0.7460317
DecisionStump	0.6150794
J48	0.6825397
IBk	0.8253968
JRip	0.5753968
LMT	0.8650794
Logistic	0.8531746
LogitBoost	0.7539683
OneR	0.6984127
SMO	0.7063492

Teniendo en cuenta los valores de las probabilidades indicados en Tabla 4 también se obtiene el mismo resultado que se ha obtenido anteriormente y el clasificador LMT es el que presenta más área bajo la curva según se puede ver en la Figura 9; y por tanto sería el método más aconsejado teniendo en cuenta que se quieren evitar falsos negativos. Hay que tener en cuenta que las curvas ROC en este caso se representan según la probabilidad de modo que si el valor de indicado en la Figura 9 para una fila concreta es superior a 0.5 se predice fracaso para el método correspondiente de la columna.

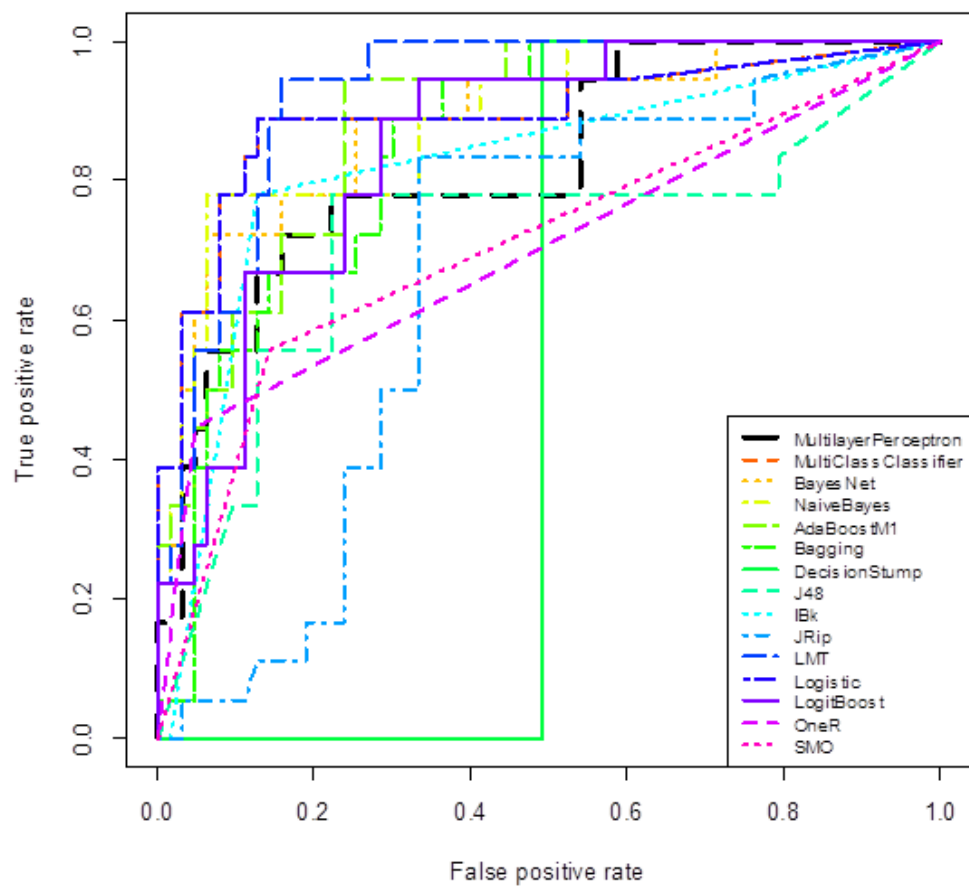


Figura 9. Curvas ROC en base a las probabilidades

Tabla 4. Área bajo la curva ROC en base a las probabilidades

Clasificador	Área curva ROC
MultilayerPerceptron	0.8253968
MultiClassClassifier	0.8928571
BayesNet	0.8818342
NaiveBayes	0.8871252
AdaBoostM1	0.8844797
Bagging	0.8483245
DecisionStump	0.5079365
J48	0.712963
IBk	0.819224
JRip	0.6640212
LMT	0.9232804
Logistic	0.8928571
LogitBoost	0.85097
OneR	0.6984127
SMO	0.7063492

Para analizar en detalle los resultados, en la siguiente tabla (Tabla 5) se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los procedimientos aplicando el sistema CBR con diferentes técnicas durante la fase de reutilización. Los valores mostrados indican la probabilidad de fracaso, el valor complementario representaría la probabilidad de éxito. Para interpretar la tabla hay que considerar que los valores inferiores a 0.75 se consideran fracaso para así evitar falsos negativos. En esta tabla se han dispuesto en las filas los casos seleccionados para el estudio con su solución final y en las columnas los

diferentes valores predictivos de algunos de los sistemas utilizados en la fase de reutilización.

Los valores más cercanos al 1 predicen fracaso, los valores más cercanos al 0 predicen éxito. En posteriores usos, se irían incorporando los datos de los nuevos casos y, aplicando todo el sistema CBR, se ofrecería una solución ante estas características.

Tabla 5. Probabilidad de fracaso para los diferentes clasificadores integrados en el CBR

MultilayerPerceptron	MultiClassClassifier	BayesNet	NaiveBayes	AdaBoostM1	Bagging	DecisionStump	J48	IBk	JRip	LMT	Logistic	LogitBoost	OneR	SMO	fracaso
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	1.00	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	1.00	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.84	1.00	0.98	0.99	1.00	0.98	1.00	0.98	1.00	1.00	No
0.00	0.00	0.03	0.02	0.81	0.81	0.93	1.00	0.01	0.93	0.27	0.00	0.81	0.00	0.00	Si
1.00	1.00	0.97	0.12	0.14	0.68	0.38	1.00	0.99	0.00	0.71	1.00	0.39	1.00	1.00	No
1.00	1.00	0.99	1.00	0.97	0.89	0.38	1.00	0.99	1.00	0.90	1.00	0.91	1.00	1.00	No
1.00	1.00	0.09	0.14	0.03	0.39	0.64	0.14	0.99	0.93	0.29	1.00	0.06	0.00	1.00	Si
0.05	0.00	0.80	0.47	0.99	0.89	0.93	1.00	0.01	1.00	0.64	0.00	0.98	1.00	0.00	Si
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.62	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	No
0.99	1.00	1.00	1.00	0.97	0.95	1.00	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	0.33	0.99	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	No
0.95	0.48	1.00	1.00	0.83	0.83	1.00	0.98	0.99	1.00	0.90	0.48	0.78	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.62	0.98	0.99	1.00	0.99	1.00	0.97	1.00	1.00	No
0.96	1.00	1.00	1.00	0.99	0.94	0.62	0.98	0.99	1.00	0.97	1.00	0.99	1.00	1.00	No
1.00	1.00	0.45	0.75	0.93	0.70	0.93	0.00	0.99	0.93	0.75	1.00	0.91	1.00	1.00	Si
1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.79	0.62	0.98	0.99	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	No
1.00	0.72	1.00	1.00	0.99	0.89	1.00	0.98	0.99	0.98	1.00	0.72	1.00	1.00	1.00	No
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.64	0.14	0.01	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Si
1.00	0.97	1.00	1.00	0.98	0.92	1.00	0.98	0.99	0.15	0.52	1.00	0.97	1.00	1.00	No
0.03	1.00	0.47	0.94	0.94	0.64	0.62	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	0.80	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.92	1.00	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	1.00	0.98	1.00	0.86	0.74	0.38	1.00	0.99	0.97	1.00	1.00	0.95	1.00	1.00	No
0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.62	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	0.99	0.07	0.35	0.62	0.11	0.99	0.11	0.10	1.00	0.11	0.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	0.96	0.60	0.76	0.62	0.98	0.99	0.98	0.89	1.00	0.67	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.84	0.62	0.98	0.99	0.98	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	No
0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.93	1.00	0.98	0.99	0.98	0.88	1.00	0.99	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.84	0.62	0.98	0.99	0.14	1.00	1.00	0.98	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	0.93	0.76	1.00	0.98	0.99	0.93	0.97	1.00	0.92	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.93	1.00	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.93	1.00	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.38	1.00	0.99	0.00	0.94	0.98	0.84	1.00	0.00	No
0.20	0.98	0.99	1.00	0.96	0.95	1.00	1.00	0.99	0.00	0.94	0.98	0.97	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.93	1.00	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	No

Tabla 5 Probabilidad de fracas para los diferentes clasificadores integrados en el CBR (continuación)

MultilayerPerceptron	MultiClassClassifier	BayesNet	NaiveBayes	AdaBoostM1	Bagging	DecisionStump	J48	IBk	JRip	LMT	Logistic	LogitBoost	OneR	SMO	fracaso
1.00	1.00	0.99	1.00	0.99	0.95	0.62	0.98	0.99	0.98	0.98	1.00	0.90	1.00	1.00	No
0.75	0.00	0.45	0.22	0.92	0.45	0.64	1.00	0.01	0.43	0.72	0.00	0.90	0.00	1.00	Si
0.01	0.01	0.04	0.01	0.78	0.56	0.64	0.00	0.01	0.90	0.26	0.01	0.05	1.00	0.00	Si
0.13	0.00	0.22	0.98	0.50	0.28	0.38	0.00	0.99	0.15	0.47	0.00	0.34	0.00	0.00	No
1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	0.93	1.00	0.98	0.99	0.89	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	1.00	0.46	0.94	1.00	0.87	0.62	1.00	0.99	0.89	0.95	1.00	0.97	1.00	1.00	No
0.98	1.00	0.84	0.90	1.00	0.94	1.00	0.75	0.01	0.89	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	No
0.03	0.88	0.44	0.01	0.68	0.82	0.64	0.93	0.99	0.43	0.56	0.88	0.93	1.00	0.00	Si
0.41	0.00	0.02	0.00	0.86	0.53	0.38	0.75	0.99	0.21	0.64	0.00	0.77	1.00	0.00	No
1.00	1.00	0.78	0.87	0.94	0.82	0.62	0.00	0.99	0.22	1.00	1.00	0.94	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	0.98	0.98	0.78	0.62	1.00	0.99	0.31	1.00	1.00	0.98	1.00	1.00	No
1.00	0.06	0.99	1.00	0.90	0.82	0.93	0.96	0.01	0.92	0.47	0.06	0.63	1.00	1.00	Si
0.90	1.00	0.96	0.85	0.78	0.92	0.62	0.98	0.01	0.97	0.98	1.00	0.32	1.00	1.00	No
0.91	1.00	0.52	0.98	1.00	0.92	1.00	0.33	0.99	0.97	0.97	1.00	0.98	1.00	1.00	No
0.03	0.00	0.86	0.94	1.00	0.83	1.00	0.00	0.01	0.97	0.84	0.00	0.81	1.00	0.00	No
1.00	0.99	1.00	1.00	0.71	0.75	1.00	0.20	0.01	0.95	0.87	0.99	0.92	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.92	1.00	1.00	0.01	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
0.65	1.00	0.96	1.00	0.99	0.82	0.62	0.20	0.01	0.91	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	No
0.00	0.95	0.48	0.92	0.77	0.71	0.62	1.00	0.99	0.17	0.38	0.95	0.73	1.00	0.00	No
1.00	1.00	0.58	1.00	0.82	0.83	0.62	1.00	0.01	0.97	1.00	1.00	0.73	1.00	1.00	No
0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	0.01	0.97	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	No
0.02	0.00	0.98	1.00	0.35	0.84	0.64	0.00	0.01	0.98	0.72	0.00	0.44	1.00	1.00	Si
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00	0.98	0.99	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	0.79	0.62	0.98	0.99	0.97	0.98	1.00	0.99	1.00	1.00	No
0.02	0.66	0.00	0.00	0.06	0.42	0.64	0.14	0.01	0.10	0.11	0.66	0.06	0.00	0.00	Si
1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	0.87	0.62	1.00	0.99	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	No
0.33	0.10	0.00	0.00	0.49	0.35	0.64	0.00	0.01	0.98	0.14	0.10	0.47	0.00	0.00	Si
1.00	1.00	0.82	0.96	0.86	0.68	0.38	0.00	0.99	0.38	0.98	1.00	0.77	1.00	1.00	No

Tabla 5 Probabilidad de fracas para los diferentes clasificadores integrados en el CBR (continuación)

MultilayerPerceptron	MultiClassClassifier	BayesNet	NaiveBayes	AdaBoostM1	Bagging	DecisionStump	J48	IBk	JRip	LMT	Logistic	LogitBoost	OneR	SMO	fracaso
0,09	0,31	0,98	0,99	1,00	0,94	1,00	0,98	0,99	0,91	0,18	0,31	0,98	1,00	0,00	No
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	1,00	0,98	0,99	0,91	0,98	1,00	0,84	1,00	1,00	No
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	1,00	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	No
1,00	0,00	0,98	1,00	0,35	0,62	0,64	0,00	0,01	0,43	0,69	0,00	0,44	1,00	1,00	Si
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	1,00	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	No
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	0,62	0,98	0,99	0,97	0,99	1,00	0,99	1,00	1,00	No
0,02	0,00	0,00	0,00	0,06	0,41	0,64	0,14	0,01	0,91	0,01	0,00	0,20	0,00	0,00	Si
1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	0,85	0,62	1,00	0,99	0,97	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	No
0,04	0,00	0,00	0,00	0,08	0,36	0,64	0,00	0,01	0,17	0,06	0,00	0,19	0,00	0,00	Si
0,23	0,00	0,44	0,00	0,68	0,74	0,64	0,93	0,01	0,43	0,01	0,00	0,62	1,00	1,00	Si
0,16	0,00	0,01	0,00	0,12	0,32	0,38	0,00	0,99	0,38	0,06	0,00	0,19	1,00	0,00	No
0,00	0,00	1,00	0,88	0,71	0,84	1,00	0,00	0,99	0,20	0,32	0,00	0,14	1,00	0,00	No
0,98	1,00	0,44	0,02	0,44	0,57	0,38	0,11	0,99	0,38	0,74	1,00	0,10	0,00	1,00	No
0,96	0,00	1,00	1,00	0,90	0,82	0,93	0,96	0,01	0,93	0,95	0,00	0,83	1,00	1,00	Si
0,00	0,00	0,04	0,06	0,07	0,54	0,64	0,98	0,99	0,93	0,09	0,00	0,29	1,00	0,00	Si

El clasificador integrado en el sistema CBR varía en función del objetivo del mismo, en caso de que el objetivo sea maximizar la tasa de acierto o el índice Kappa el clasificador que mejores resultados ha dado en el sistema CBR es NaiveBayes. En el caso de trabajar con problemas no balanceados, es decir, en los que un falso negativo y un falso positivo no tienen las mismas consecuencias se debe de trabajar con curvas ROC. El clasificador será mejor cuanto mayor sea el área que se deja bajo la curva ROC, en este caso, el clasificador que mejores resultados ha dado ha sido LMT aunque NaiveBayes proporcionaba resultados similares. En función de las necesidades del caso de estudio se debe seleccionar una u otra opción.

Para mejorar la capacidad de predicción del sistema CBR se procedió a modificar la etapa de recuperación. Durante la etapa de recuperación se aplicaron los test estadísticos de chi cuadrado, corrección por Yates, simulación Monte Carlo y también se aplicó Fisher's exact test sobre las 52 variables frente al fracaso de restauración y se eliminaron todas aquellas para las que en todos los test rechazaba la H_0 . En la introducción del último caso, las variables consideradas como relevantes fueron: Hábitos de cepillado, contaminación con saliva, cambio de dique, uso de detector de caries, eliminación total de la caries, eliminación de esmalte, valoración del encofrado, nota1, nota2, nota3, nota4.

Para analizar eficiencia de los resultados se calcula el área bajo la curva ROC usando diferentes clasificadores con la totalidad de las variables y con las variables consideradas dependientes. Se realizó un 5x2 cross validation obteniendo los resultados de la Tabla 6 para las variables sin filtrar y la Tabla 7 en el caso de usar sólo las variables consideradas dependientes. Tanto en la Tabla 6 como en la Tabla 7 se muestra el área bajo la curva ROC para diferentes clasificadores.

Tabla 6. 5x2 Crossvalidation area under de roc curve sin filtrado

											Average
MultilayerPerceptron	0,872	0,853	0,810	0,771	0,781	0,846	0,860	0,823	0,733	0,745	0,809
MultiClassClassifier	0,873	0,860	0,714	0,723	0,590	0,781	0,739	0,783	0,624	0,814	0,750
BayesNet	0,899	0,882	0,852	0,756	0,830	0,749	0,841	0,857	0,819	0,833	0,832
NaiveBayes	0,927	0,921	0,881	0,753	0,955	0,821	0,860	0,913	0,920	0,843	0,879
AdaBoostM1	0,892	0,799	0,805	0,713	0,797	0,670	0,803	0,882	0,797	0,824	0,798
Bagging	0,809	0,839	0,795	0,631	0,898	0,812	0,636	0,903	0,838	0,745	0,791
DecisionStump	0,734	0,634	0,786	0,696	0,780	0,591	0,706	0,617	0,740	0,706	0,699
J48	0,653	0,634	0,693	0,685	0,729	0,658	0,748	0,617	0,655	0,706	0,678
IBk	0,628	0,625	0,693	0,530	0,668	0,642	0,830	0,683	0,740	0,804	0,684
JRip	0,786	0,808	0,621	0,720	0,780	0,548	0,706	0,500	0,649	0,760	0,688
LMT	0,500	0,932	0,967	0,632	0,851	0,824	0,936	0,648	0,885	0,809	0,798
Logistic	0,873	0,860	0,714	0,723	0,590	0,781	0,739	0,783	0,624	0,814	0,750
LogitBoost	0,965	0,878	0,824	0,804	0,835	0,814	0,879	0,850	0,859	0,787	0,849
OneR	0,651	0,792	0,664	0,530	0,780	0,548	0,706	0,617	0,649	0,578	0,652
SMO	0,842	0,720	0,679	0,744	0,715	0,769	0,799	0,767	0,573	0,745	0,735

Tabla 7. 5x2 Crossvalidation area under de roc curve con filtrado

Average											
MultilayerPerceptron	0,931	0,932	0,943	0,798	0,927	0,720	0,894	0,937	0,917	0,951	0,895
MultiClassClassifier	0,882	0,957	0,967	0,726	0,878	0,728	0,750	0,963	0,862	0,907	0,862
BayesNet	0,792	0,717	0,812	0,729	0,887	0,593	0,835	0,783	0,691	0,811	0,765
NaiveBayes	0,903	0,935	0,981	0,795	0,913	0,810	0,883	0,930	0,948	0,882	0,898
AdaBoostM1	0,870	0,882	0,945	0,878	0,910	0,695	0,894	0,913	0,930	0,831	0,875
Bagging	0,951	0,842	0,943	0,735	0,911	0,708	0,801	0,880	0,740	0,797	0,831
DecisionStump	0,734	0,634	0,786	0,696	0,780	0,591	0,706	0,617	0,740	0,706	0,699
J48	0,675	0,634	0,788	0,647	0,700	0,593	0,706	0,617	0,751	0,721	0,683
IBk	0,753	0,728	0,624	0,658	0,727	0,588	0,758	0,683	0,710	0,625	0,685
JRip	0,747	0,618	0,643	0,720	0,780	0,611	0,706	0,633	0,740	0,848	0,705
LMT	0,962	0,966	0,979	0,884	0,931	0,814	0,943	0,963	0,937	0,973	0,935
Logistic	0,882	0,957	0,967	0,726	0,878	0,728	0,750	0,963	0,862	0,907	0,862
LogitBoost	0,924	0,876	0,938	0,830	0,882	0,783	0,898	0,927	0,935	0,855	0,885
OneR	0,651	0,792	0,664	0,673	0,780	0,651	0,706	0,617	0,649	0,578	0,676
SMO	0,722	0,817	0,750	0,673	0,731	0,667	0,705	0,650	0,667	0,735	0,712

Una vez calculado el valor de la AUC antes y después del filtrado se procede a realizar un análisis de la significación estadísticas de las diferencias. Se aplica un test de Mann whitney y t-test para muestras apareadas. La columnas 3 y 4 de la Tabla 8 muestran en rojo los clasificadores que proporcionan resultados significativamente mejores cuando se aplica el filtrado, mientras que las últimas dos columnas muestran los clasificadores que proporcionan resultados significativamente peores cuando se aplica el filtrado. Se puede ver que hay 6 clasificadores que proporcionan mejores resultados

cuando se aplica el filtrado y posteriormente sólo 1 que empeora los resultados. De cualquier modo, lo más significativo es que el clasificador que mejores resultados proporciona es LMT y este mejora los resultados al realizar el filtrado. En las primeras 3 columnas se muestra el test de homogeneidad de varianzas, el test de normalidad para los datos sin filtrar y el test de normalidad para los datos filtrados.

Tabla 8. Análisis de igualdad del área bajo la curva de ROC.

	Levenne	Shapiro sin filtrar	Shapiro Filtrado	Mann whitney (less)	t-test (less)	Mann whitney (greater)	t-test (greater)
MultilayerPerceptron	0,923	0,001	0,453	0,014	0,010	0,990	0,990
MultiClassClassifier	0,970	0,076	0,664	0,007	0,009	0,995	0,991
BayesNet	0,198	0,725	0,347	0,993	0,992	0,010	0,008
NaiveBayes	0,808	0,472	0,388	0,101	0,085	0,916	0,915
AdaBoostM1	0,975	0,012	0,195	0,003	0,002	0,998	0,998
Bagging	0,766	0,465	0,152	0,097	0,114	0,920	0,886
DecisionStump	1,000	0,500	0,500	1,000	1,000	1,000	1,000
J48	0,225	0,964	0,869	0,528	0,377	0,528	0,623
IBk	0,446	0,438	0,803	0,453	0,488	0,594	0,512
JRip	0,411	0,492	0,363	0,223	0,287	0,824	0,713
LMT	0,032	0,011	0,191	0,003	0,012	0,998	0,988
Logistic	0,970	0,076	0,664	0,007	0,009	0,995	0,991
LogitBoost	0,858	0,306	0,288	0,042	0,027	0,968	0,973
OneR	0,394	0,291	0,630	0,186	0,087	0,963	0,913
SMO	0,621	0,380	0,459	0,858	0,791	0,166	0,209

Calculando los valores de la tasa de acierto e índice κ aplicando la selección de las variables consideradas relevantes durante la recuperación se puede ver que el resultado mejora, se ha pasado de 90.12% a 92.59% de tasa de acierto (Tabla 9).

Tabla 9. Área bajo la curva ROC en base a las probabilidades

Clasificador	Acierto	Porcentaje	Kappa
MultilayerPerceptron	74	0,913580247	0.7548638
MultiClassClassifier	75	0,925925926	0.7857143
BayesNet	65	0,802469136	0.3513514
NaiveBayes	72	0,888888889	0.6720648
AdaBoostM1	67	0,827160494	0.4568966
Bagging	64	0,790123457	0.2949309
DecisionStump	54	0,666666667	-0.173913
J48	58	0,716049383	0.1265823
IBk	63	0,777777778	0.3816794
JRip	63	0,777777778	0.3305785
LMT	68	0,839506173	0.4845815
Logistic	75	0,925925926	0.7857143
LogitBoost	70	0,864197531	0.5991903
OneR	68	0,839506173	0.4608295
SMO	70	0,864197531	0.5217391

Analizando el nuevo valor del área bajo la curva ROC se obtienen los siguientes resultados mostrados en la Figura 10. y en la Tabla 10 En este caso el clasificador que mejores resultados ha dado ha sido MultilayerPerceptron que ha obtenido un AUC de 0.9257672 frente al 0.8928571 máximo que se había obtenido antes de aplicar el filtrado. Sin embargo, se puede ver en la Tabla 9. que no para todos los casos se ha aumentado el AUC.

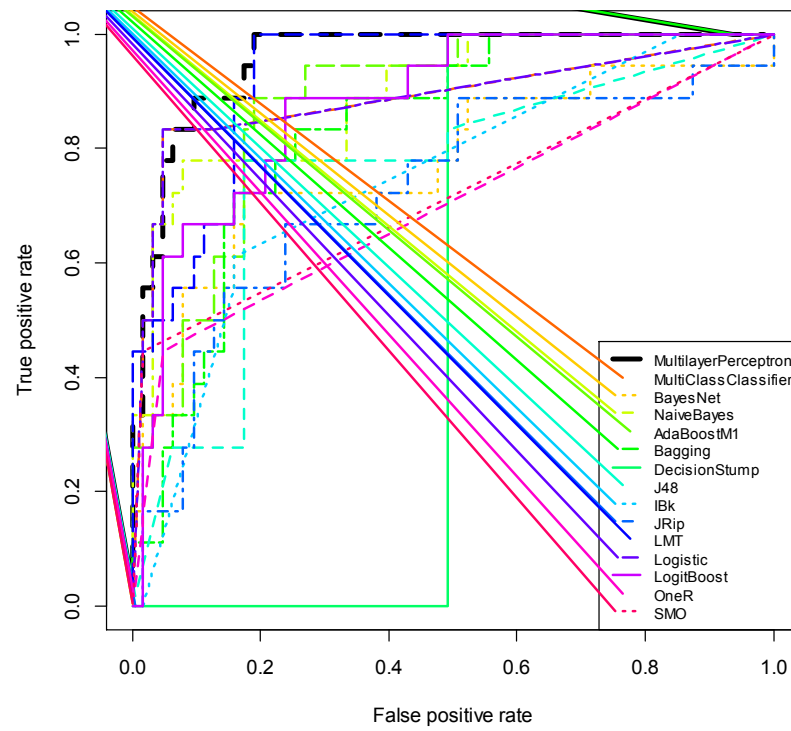


Figura 10. Curvas ROC en base a las probabilidades

Tabla 10. Área bajo la curva ROC en base a las probabilidades

Clasificador	Área curva ROC
MultilayerPerceptron	0.957672
MultiClassClassifier	0.888448
BayesNet	0.7742504
NaiveBayes	0.8932981
AdaBoostM1	0.8783069
Bagging	0.8333333
DecisionStump	0.5079365
J48	0.7522046
IBk	0.7451499
JRip	0.7257496
LMT	0.9268078
Logistic	0.888448
LogitBoost	0.8783069
OneR	0.6984127
SMO	0.7142857

5.2 Resultados estadística inferencial

Los casos elegidos contenían toda la información necesaria para completar todas las variables consideradas. Dichas variables contemplan toda la información relevante al paciente, historia médica, dental, sus hábitos y costumbres; pero además se valoraban datos relativos al estado previo del diente, su morfología, las fases de la técnica clínica utilizada y los resultados de la evaluación. De esta manera se contemplan el mayor número de variables capaces de influir en el fracaso del tratamiento restaurador del diente.

La cohorte de alumnos de cuarto curso del Grado de Odontología evaluados fueron 81, con una edad media de 22,1 años (DE 3,1). Cuarenta alumnos (49,4%) eran del curso 2011-2012 y 41 (50,6%) en el curso 2012-2013. El 16% de ellos tenían al menos un familiar odontólogo y un 14,8% tenían experiencia previa en el procedimiento a través de actividades formativas como técnico de higiene buco-dental y/o técnico en prótesis dental (Tabla 11).

Tabla 11. Descripción de los 81 estudiantes de 4º Odontología.

		Nº de casos	%
Año	2011-12	40	49,4
	2012-13	41	50,6
Edad (años)*		22,1	3,1
FamiliaresOdontólogos	No	68	84,0
	Si	13	16,0
Experienciaprevia	No	69	85,2
	Si	12	14,8

*Datos expresados en media (Desviación estándar)

Los pacientes tratados durante la evaluación fueron 53 (65,4%) mujeres y 28 (34,6%) hombres con edades comprendidas entre los 26 años y los 77 años. La edad media de los pacientes fue de 55,5 años (DE 13,6) y todos cumplían los criterios de inclusión establecidos previamente (Tabla 12).

Tabla 12. Descripción de los 81 pacientes tratados por los estudiantes de 4º Odontología.

		Nº de casos	%
Sexo	Mujer	53	65,4
	Hombre	28	34,6
Edad (años)*		55,5	13,6
Pieza dental	14	2	2,5
	15	3	3,7
	16	13	16,0
	17	5	6,2
	18	1	1,2
	24	2	2,5
	25	3	3,7
	26	9	11,1
	27	6	7,4
	34	3	3,7
	35	6	7,4
	36	10	12,3
	37	5	6,2
	44	3	3,7
	45	2	2,5
	46	5	6,2
	47	3	3,7
Hábitos cepillado (nº de veces día)	0	1	1,2
	1	20	24,7
	2	44	54,3
	3	16	19,8
*Datos expresados en media (Desviación estándar)			

Los sectores de la cavidad oral a los que pertenecen las piezas dentarias evaluadas se recogen en la figura 11. Un 16,05% de las piezas eran del sector 4 (inferior derecho) siendo la pieza dentaria más frecuentemente tratada la número 16. En orden de frecuencia le siguieron la pieza número 36 con un 12,3% y la pieza 26 con un 11,1%.

Figura 11. Distribución porcentual por sectores de la cavidad oral de las piezas dentarias tratadas por los estudiantes de 4º de Odontología (n=81).

Resultados del tratamiento restaurador.-

El tratamiento realizado por el estudiante se dividió en cuatro fases clínicas: anestesia, aislamiento, preparación de la cavidad y obturación. Cada fase fue evaluada individualmente, por el examinador-profesor y este le asignó una puntuación numérica del 0 al 10. Finalmente se computaba una nota global como la media de las individuales.

Durante la fase de anestesia el componente más utilizado, por el alumno, fue la lidocaína (75,3%). La técnica infiltrativa fue la más empleada (64,2%) y se necesitó solamente un carpule en el 67,9% de los pacientes tratados. El tiempo mediano de espera fue de 5 minutos (RIC 5-10) esto quiere decir que el efecto de la anestesia en el 50% de los pacientes tardó en lograrse cinco minutos o menos. En un 25% de ellos se precisaron más de 10 minutos para realizar esta fase (Tabla 13).

El 65,4% de los estudiantes observados por el examinador-profesor en la fase de anestesia lograron el efecto anestésico requerido en un intento y un 7,4% necesitaron tres intentos para lograr el objetivo. El grado de anestesia alcanzado fue bueno en un 88,9%, es decir el paciente según la observación del examinador-profesor estaba confortable y no mostraba signos de dolor. La ayuda por parte del examinador-profesor fue requerida por 43 alumnos (53,1%).

Tabla 13. Descripción de los aspectos a considerar en la fase de anestesia del tratamiento inicial realizado en las piezas dentarias tratadas por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).

Fase de anestesia			
		Nº de casos	%
Realizado por alumno			
Tipo de anestesia	Articaína	1	1,2
	Lidocaína	61	75,3
	Mepivacaína	19	23,5
Técnica empleada	Infiltrativa	52	64,2
	Troncular	29	35,8
Número de carpules	1	55	67,9
	2	26	32,1
Tiempo de espera del efecto (min.)*		5	5 - 10
Realizado por el examinador-profesor			
Intentos empleados	1	53	65,4
	2	22	27,2
	3	6	7,4
Grado de Anestesia	Bueno	72	88,9
	Malo	9	11,1
Ayuda del professor	No	38	46,9
	Sí	43	53,1

*Datos expresados en mediana (Rango intercuartil)

Durante la fase de aislamiento se evaluaron aspectos relacionados con el tipo de aislamiento usado, el número de piezas aisladas y la contaminación de la pieza dental a tratar por saliva o sangre. El tipo de aislamiento de elección fue el dique de goma, en 74 (91,4%) de los casos incluidos en este estudio. Los siete casos restantes fueron aislados con rollos de algodón por imposibilidad de colocar el dique (Tabla 14).

El tiempo mediano de esta fase, que abarca desde que el estudiante coloca el dique hasta que el examinador-profesor la evalúa, fue de 10 minutos (RIC 5-15) esto quiere decir que el tiempo empleado, en el 50% de los

pacientes, fue de diez minutos o menos. En un 25% de ellos se precisaron más de 15 minutos para realizar esta fase.

El grado de satisfacción del alumno, en la fase de aislamiento, fue bueno en 64 alumnos lo que supone un 79,0% de la muestra. En la figura 12 se observa la distribución del tiempo empleado por el alumno según el grado de satisfacción con el procedimiento. El 25% de los alumnos con un grado de satisfacción bueno lograron completar la fase en cinco minutos o menos mientras que los que obtuvieron un grado de satisfacción malo lo realizaron en 10 minutos o menos ($p=0,478$).

El 91,4% de los estudiantes observados por el examinador-profesor en la fase de aislamiento lograron un aislamiento bueno y 30 alumnos (37,0%) necesitaron ayuda del examinador-profesor para alcanzar un correcto aislamiento de 7 (19,8%) o 6 (24,7%) piezas dentales. Aunque el número más frecuente de piezas aisladas fue cinco (27,2%).

Las incidencias registradas durante la fase de aislamiento fueron contaminación con saliva (18,5%) y/o con sangre (12,3%) lo que supuso que 10 estudiantes cambiaran el dique durante esta fase. Al evaluar la probabilidad de contaminación por saliva, según el grado de satisfacción del alumno, se observó en el 13,3% de los alumnos con un buen grado de satisfacción y en un 86,7% de los alumnos con un grado de satisfacción malo ($p<0,001$). El hecho de que haya contaminación por saliva correlaciona con el grado de satisfacción del alumno del mismo modo la contaminación por sangre (10% vs 90%; $p<0,001$) y en consecuencia el cambio de dique (10% vs 90%; $p<0,001$) (Figura 13).

En la Tabla 15 se describen los aspectos a considerar en la fase de realización de la cavidad en el tratamiento inicial, realizado en las piezas dentarias tratadas por los estudiantes de 4º Odontología.

Los estudiantes tuvieron que identificar la profundidad de la lesión y el número de paredes afectadas. En cuanto a la profundidad en 49 (60,5%) casos fué una lesión poco profunda y en 30 (37,%) muy profunda. En orden de frecuencia el número de paredes afectadas fue 4 (40,7%) seguida de 2 paredes con un 38,3%.

Cincuenta y un (63,0%) estudiantes optaron por usar el detector de caries para identificar mejor la lesión.

En cuanto al tratamiento realizado el 98,8% de los estudiantes hicieron uso de la turbina, el 70,4% usaron el contra ángulo, el 55,7% optaron por usar la cucharilla para la realización de la cavidad.

Tabla 14. Descripción de los aspectos a considerar en la fase de aislamiento del tratamiento inicial realizado en las piezas dentarias tratadas por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).

Fase de aislamiento			
		Nº de casos	%
Realizado por alumno			
Tipo de aislamiento	Algodones	7	8,6
	Dique	74	91,4
Piezas aisladas	2	1	1,2
	3	12	14,8
	4	10	12,3
	5	22	27,2
	6	20	24,7
	7	16	19,8
Tiempo empleado (min.)*		10	5 -15
Grado de satisfacción del alumno	Bueno	64	79,0
	Malo	17	21,0
Realizado por el observador			
Valoración del aislamiento	Bueno	74	91,4
	Malo	7	8,6
Ayuda del profesor	No	51	63,0
	Sí	30	37,0
Incidencias durante el tratamiento	No		
Contaminación con saliva	No	66	81,5
	Sí	15	18,5
Contaminación con sangre	No	71	87,7
	Sí	10	12,3
Cambio de dique	No	71	87,7
	Sí	10	12,3

*Datos expresados en mediana (Rango intercuartil)

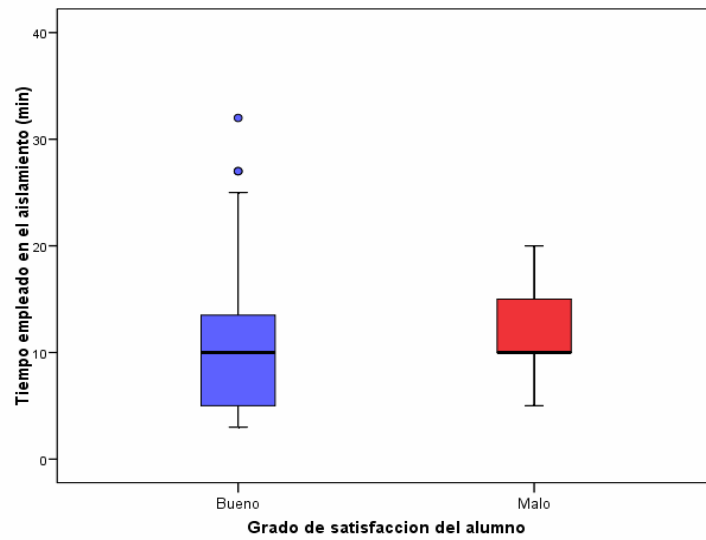


Figura 12. Distribución del tiempo empleado en la fase de aislamiento de las piezas dentarias tratadas por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).

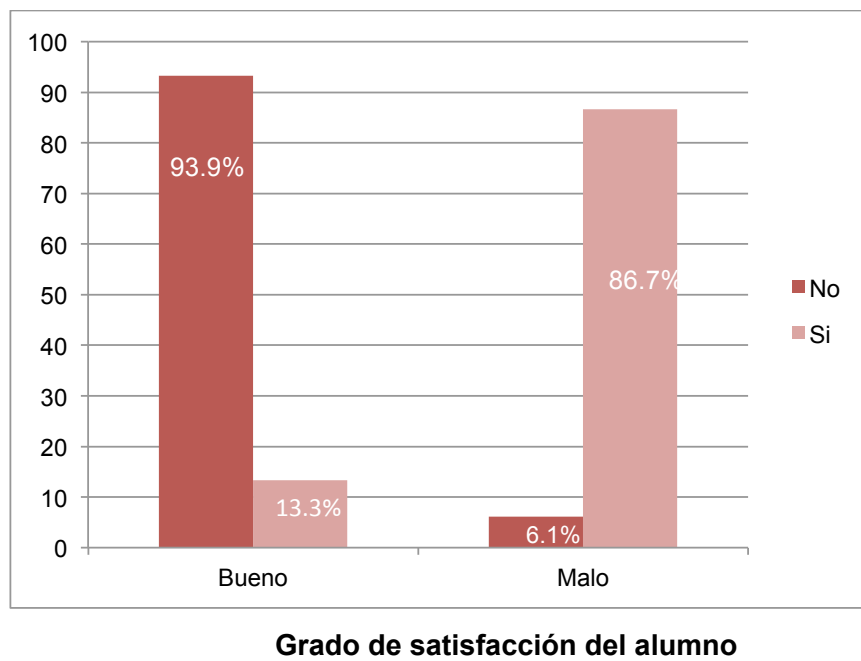


Figura 13. Distribución de frecuencia de contaminación de la pieza tratada con saliva, en la fase de aislamiento de las piezas dentarias tratadas por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).

Tabla 15. Descripción de los aspectos a considerar en la fase de realización de la cavidad en el tratamiento inicial realizado en las piezas dentarias tratadas por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).

Fase de realización de la cavidad			
		Nº de casos	%
Realizado por alumno			
Profundidad de la lesión	Muyprofunda	30	37,0
	Profunda	2	2,5
	Pocoprofunda	49	60,5
Numero de paredes afectadas	2	31	38,3
	3	17	21,0
	4	33	40,7
Uso de detector de caries	No	30	37,0
	Sí	51	63,0
Uso de Turbina	No	1	1,2
	Sí	80	98,8
Uso de contrángulo	No	24	29,6
	Sí	57	70,4
Uso de cucharilla	No	35	44,3
	Sí	44	55,7
Tiempo empleado (min.)*		30	20-35
Grado de satisfacción	Muysatisfecho	1	1,2
	Satisfecho	62	76,5
	Pocosatisfecho	18	22,2
Realizado por el observador			
Ayuda del profesor 3	No	41	50,6
	Sí	40	49,4
Eliminación total de la caries	No	2	2,5
	Sí	79	97,5
Eliminación de esmalte	Parcial	12	14,8
	Total	69	85,2
Grado de dificultad	Alta	26	32,1
	Media	32	39,5
	Baja	23	28,4
Incidencias durante el tratamiento			
Exposición pulpar	No	81	100,0

*Datos expresados en mediana (Rango intercuartil)

El tiempo mediano de esta fase, que abarca desde que el estudiante empieza a limpiar la lesión hasta que el examinador-profesor la evalúa, fue de 30 minutos (RIC 20-35) esto quiere decir que el tiempo empleado, en el 50% de los pacientes, fue de treinta minutos o menos. En un 25% de ellos se precisaron más de 35 minutos para realizar esta fase.

El grado de satisfacción del alumno, en la fase de preparación de la cavidad, fue bueno en 62 alumnos lo que supone un 76,5% de la muestra.

El 49,4% de los estudiantes observados por el examinador-profesor, en esta fase, necesitaron ayuda del examinador-profesor para alcanzar la eliminación total de la caries, lo que consiguieron el 97,5% de los alumnos. En 69 casos (85,2%) consiguieron una eliminación total del esmalte. El examinador-profesor clasificó 32 de los casos en un grado de dificultad media y en 23 en un grado de dificultad bajo.

No hubo incidencias en esta fase.

En la Tabla 16 se recogen los aspectos considerados en la fase de obturación de la cavidad, en el tratamiento inicial realizado en las piezas dentarias tratadas por los estudiantes de 4º Odontología.

El tipo de adhesivo y el grabado fueron de tipo autograbante en todos los casos realizados. El 59,3% de los estudiantes usaron matriz y el 55,6% usaron cuña para obturar la cavidad siendo la técnica de colocación Iceberg la de elección en todos los procedimientos. Solamente 15 alumnos (18,8%) tuvieron que usar una base cavitaria.

En el 69,1% de las obturaciones finalizaron sobreobturadas. En 73 (90,1%) casos se realizó el ajuste de oclusión requiriendo un contorneado anatómico. El contorneado se realizó en un 91,4% de los casos con turbina y en un 86,4% requirieron el uso del contrángulo. Finalmente el 93,8% de los procedimientos requirió un pulido de la restauración.

El tiempo mediano de esta fase, que abarca desde que el estudiante eliminó la lesión hasta el pulido de la misma y el examinador-profesor la evalúa, fue de 30 minutos (RIC 25-40) esto quiere decir que el tiempo empleado, en el 50% de los pacientes, fue de treinta minutos o menos. En un 25% de ellos se precisaron más de 40 minutos para realizar esta fase.

El grado de satisfacción del alumno, en la fase de obturación, fue bueno en 59 alumnos lo que supone un 72,8% de la muestra. Solo cuatro de los alumnos no dieron las instrucciones correspondientes de higiene oral para motivar a los pacientes.

Tabla 16. Descripción de los aspectos a considerar en la fase de obturación la cavidad en el tratamiento inicial realizado en las piezas dentarias tratadas por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).

Fase de obturación

		Nº de casos	%
Realizado por alumno			
Tipo de adhesivo	Autograbado	81	100,0
Tipo de grabado	Autograbado	81	100,0
Uso de matriz	No	33	40,7
	Sí	48	59,3
Uso de cuña	No	36	44,4
	Sí	45	55,6
Técnica de colocación	Iceberg	81	100,0
Técnica de incrementación	Sí	81	100,0
Uso de base cavitaria	No	65	81,3
	Sí	15	18,8
Obturación	Infraobturada	25	30,9
	Sobreobturada	56	69,1
Ajuste de oclusión	No	8	9,9
	Sí	73	90,1
Contorneado anatómico	No	8	9,9
	Sí	73	90,1

Uso de turbina	No	7	8,6
	Sí	74	91,4
Uso de contra-ángulo	No	11	13,6
	Sí	70	86,4
Pulido de la restauración	No	5	6,2
	Sí	76	93,8
Tiempo empleado (min.)*		30	25-40
Motivación al paciente para la higiene	No	4	4,9
	Si	77	95,1
Grado de satisfacción	Muysatisfecho	4	4,9
	Satisfecho	59	72,8
	Pocosatisfecho	18	22,2
Realizado por el observador			
Ayuda del profesor	No	41	50,6
	Sí	40	49,4
Incidencias durante el tratamiento			
Incidencias	No	80	98,8
	Sí	1	1,2

*Datos expresados en mediana (Rango intercuartil)

El 49,4% de los estudiantes observados por el examinador-profesor, en esta fase, necesitaron ayuda para finalizar el tratamiento

En esta fase hubo una sola incidencia, en donde el estudiante no pudo terminar el tratamiento que requirió de una cita posterior donde se finalizó.

En la Figura 14 se observan las medianas de las puntuaciones obtenidas de forma global y en cada fase del tratamiento realizado por los estudiantes de 4º Odontología. La mediana de puntuación en todas las fases fue de 6 puntos siendo en la global una puntuación mediana de 6,25 (RIC 5,75 - 6,75).

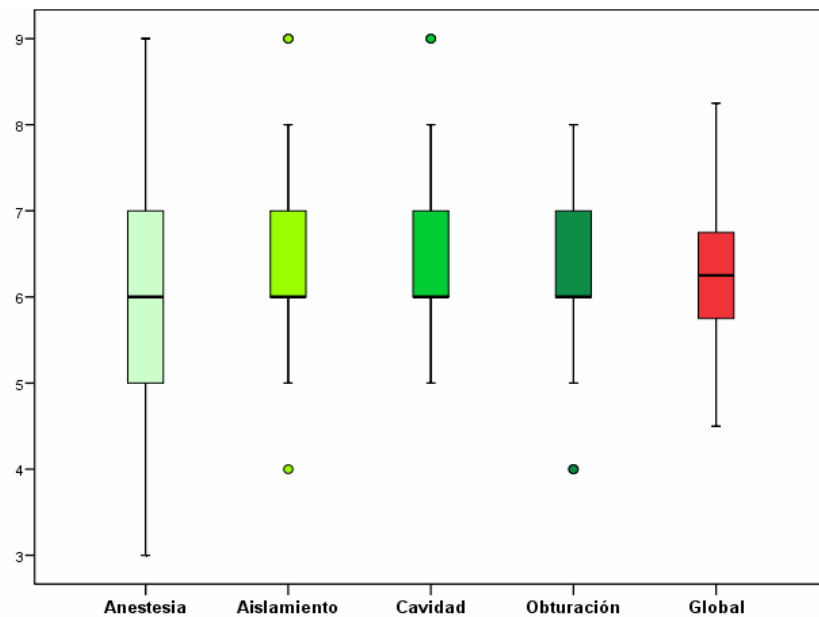


Figura 14. Distribución de frecuencia de las puntuaciones obtenidas de forma global y en cada fase del tratamiento realizado por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).

En la Figura 15 se recoge la incidencia relativa de fracaso de las restauraciones de composite en el sector posterior al año del procedimiento. La probabilidad global de fracaso fue de 22,2% (IC95% 12,6-31,9). La etiología de los fracasos obtenidos en este estudio se debieron en un 18,5% (IC95% 9,4-27,6) a filtración de la obturación y en un 3,7% (IC95% 0,8-10,4) a la fractura de la resina híbrida.

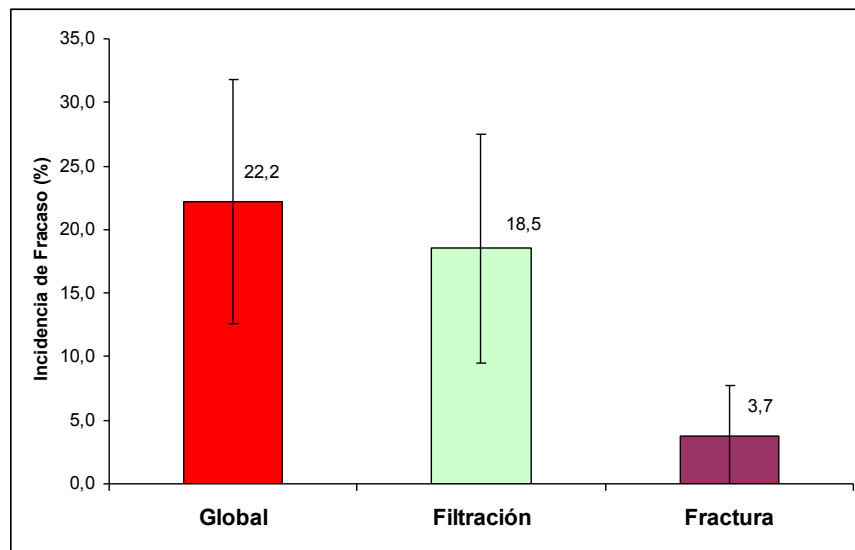


Figura 15. Incidencia relativa de fracaso al año del tratamiento realizado por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).

De los cuatro alumnos que puntuaron por debajo de 5 en la fase 1 hubo tres fracasos, con una incidencia del 75% frente a los alumnos que superaron esta fase con una incidencia de fracaso del 19,5% ($p=0,033$). Un solo alumno puntuó por debajo de 5 en la fase 2 y fracasó el tratamiento al cabo de 12 meses, con una incidencia del 100% frente a los alumnos que superaron esta fase con una incidencia de fracaso del 21,3% ($p=0,222$). Todos los alumnos superaron la fase 3. De los dos alumnos que puntuaron por debajo de 5 en la fase 4 ambos fracasaron en el éxito del tratamiento, con una incidencia del 100% frente a los alumnos que superaron esta fase cuya incidencia de fracaso fue del 20,3% ($p=0,047$).

Análisis univariable.

En la Tabla 17 se recoge el resultado del análisis univariable de los factores del alumno y paciente asociados a la probabilidad de fracaso de la restauración al año, realizadas por los estudiantes de 4º Odontología. Los datos comparativos de los cursos 2011-2012 y 2012-2013 no revelan diferencias significativas aunque se aprecia una reducción relativa del riesgo de fracaso del 46% (OR 0,54; IC95% 0,19-1,58). Las variables de alumno analizadas no han resultado significativas.

Tabla 17. Descripción de los factores del alumno y paciente asociados a la probabilidad de fracaso de la restauración al año realizadas por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).

		Nºde casos	Incidencia (%)	OR	IC95%		p
Alumno							
Año	2011-12	11	27,5	Referencia			
	2012-13	7	17,1	0,54	0,19	1,58	0,259
Edad (años)	21	11	19,3	Referencia			0,551
	22	4	33,3	2,09	0,53	8,22	
	23	3	25,0	1,39	0,32	6,02	
Familiares Odontólogos	No	14	20,6	Referencia			
	Sí	4	30,8	1,71	0,46	6,39	0,419
Experiencia previa	No	15	21,7	Referencia			
	Sí	3	25,0	1,20	0,29	5,00	0,802
Paciente							
		Nº de casos	Incidencia (%)	OR	IC95%	p	
Sexo	Mujer	14	26,4	2,15	0,63	0,07	0,212
	Hombre	4	14,3	Referencia			
Tertiles de edad (años)	<50	4	14,3	Referencia			0,230
	50-65	10	32,3	2,62	0,71	9,65	
	>65	4	16,7	1,10	0,24	4,99	
Pieza dental	14	1	50,0				0,136

	15	0	0,0				
	16	4	30,8				
	17	0	0,0				
	18	0	0,0				
	24	1	50,0				
	25	0	0,0				
	26	2	22,2				
	27	0	0,0				
	34	0	0,0				
	35	1	16,7				
	26	2	20,0				
	27	0	0,0				
	34	0	0,0				
	35	1	16,7				
	36	2	20,0				
	37	2	40,0				
	44	0	0,0				
	45	0	0,0				
	46	2	40,0				
	47	3	100,0				
Pieza sectores	1	5	20,8	Referencia			0,450
	2	3	15,0	Referencia			
	3	5	20,8	Referencia			
	4	5	38,5	2,64	0,74	9,42	
Hábitos cepillado	0-1	11	52,4	8,33	2,60	26,67	<0,001
	2	7	15,9	Referencia			

No se observaron diferencias en las variables de la fase de anestesia pero si en la fase de aislamiento en la cual la contaminación con saliva y el cambio de dique e incidencia, variables asociadas, debido a que el estudiante cuando se produjo la incidencia siempre cambió el dique de goma, durante el procedimiento se asociaron significativamente a un incremento en la probabilidad de fracaso al año, alcanzando un 70% de probabilidad de fracaso en los pacientes que presentaron incidencias durante el procedimiento (Tabla 18).

Tabla 18. Descripción de los factores de las fases de anestesia y aislamiento asociados a la probabilidad de fracaso de la restauración al año realizadas por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).

		Fracaso restauración				
		No		Si		
		Nº de casos	%	Nº de casos	%	p
Fase de anestesia						
Tipo de Anestesia	Articaína	1	100,0	0	0,0	0,625
	Lidocaína	46	75,4	15	24,6	
	Mepivacaína	16	84,2	3	15,8	
Técnica empleada	Infiltrativa	41	78,8	11	21,2	0,757
	Troncular	22	75,9	7	24,1	
Intentos empleados	1	43	81,1	10	18,9	0,577
	2	16	72,7	6	27,3	
	3	4	66,7	2	33,3	
Numero de carpules	1	42	76,4	13	23,6	0,656
	2	21	80,8	5	19,2	
Ayuda del profesor	No	28	73,7	10	26,3	0,405
	Sí	35	81,4	8	18,6	
Fase de aislamiento						
Tipo de aislamiento	Algodones	5	71,4	2	28,6	0,672
	Dique	58	78,4	16	21,6	
Piezas aisladas	2	1	100,0	0	0,0	0,123
	3	12	100,0	0	0,0	
	4	5	50,0	5	50,0	
	5	16	72,7	6	27,3	
	6	16	80,0	4	20,0	
	7	13	81,3	3	18,8	
Ayuda del profesor	No	38	74,5	13	25,5	0,356
	Sí	25	83,3	5	16,7	
Contaminación con saliva	No	56	84,8	10	15,2	0,001
	Sí	7	46,7	8	53,3	
Contaminación con sangre	No	57	80,3	14	19,7	0,149
	Sí	6	60,0	4	40,0	
Cambio de dique	No	60	84,5	11	15,5	0,000
	Sí	3	30,0	7	70,0	
Incidencias	No	60	84,5	11	15,5	0,000
	Sí	3	30,0	7	70,0	

La fase de realización de la cavidad presento variables relacionadas con el fracaso (Tabla 19). El no uso de detector de caries ($p=0,003$) se asoció al fracaso. En los dos casos en los que no hubo una eliminación total de la caries se observo el fracaso de ambos ($p=0,007$). En relación al grado de dificultad, los procedimientos de dificultad alta presentaron un 38,5% de fracaso frente al 13,0% en los de dificultad baja ($p=0,052$).

Tabla 19. Descripción de los factores de la fase de realización de la cavidad asociados a la probabilidad de fracaso de la restauración al año realizadas por los estudiantes de 4º Odontología ($n=81$).

		Fracaso restauración				
		No		Si		
		Nº de casos	%	Nº de casos	%	p
Profundidad de la lesión	Muy profunda	20	66,7	10	33,3	0,157
	Poco profunda	41	83,7	8	16,3	
	Profunda	2	100,0	0	0,0	
Uso de contrángulo	No	18	75,0	6	25,0	0,696
	Sí	45	78,9	12	21,1	
Uso de cucharilla	No	29	82,9	6	17,1	0,540
	Sí	34	77,3	10	22,7	
Uso de detector de caries	No	18	60,0	12	40,0	0,003
	Sí	45	88,2	6	11,8	
Ayuda del profesor 3	No	28	68,3	13	31,7	0,038
	Sí	35	87,5	5	12,5	
Numero de paredes afectadas	2	28	90,3	3	9,7	0,074
	3	13	76,5	4	23,5	
	4	22	66,7	11	33,3	
Eliminación total de la caries	No	0	0,0	2	100,0	0,007
	Sí	63	79,7	16	20,3	
Eliminación de esmalte	Parcial	6	50,0	6	50,0	0,412
	Total	57	82,6	12	17,4	
Grado de dificultad	Alta	16	61,5	10	38,5	0,052
	Baja	20	87,0	3	13,0	
	Media	27	84,4	5	15,6	

Los factores significativos de la fase de obturación de la cavidad asociados al fracaso en el procedimiento, ajuste de la oclusión ($p= 0,047$) (Tabla 20).

Tabla 20. Descripción de los factores de la fase de obturación de la cavidad asociados a la probabilidad de fracaso de la restauración al año realizadas por los estudiantes de 4º Odontología ($n=81$).

		Fracasorestauración				
		No		Si		
		Nº de casos	%	Nº de casos	%	
						p
Uso de base cavitaria	No	49	75,4	16	24,6	0,126
	Sí	14	93,3	1	6,7	
Uso de matriz	No	26	78,8	7	21,2	0,856
	Sí	37	77,1	11	22,9	
Uso de cuña	No	28	77,8	8	22,2	1,000
	Sí	35	77,8	10	22,2	
Valoración del encofrado	Bueno	47	87,0	7	13,0	0,204
	Malo	1	25,0	3	75,0	
	Regular	15	65,2	8	34,8	
Numero de capas	2	15	78,9	4	21,1	0,079
	3	10	90,9	1	9,1	
	4	14	93,3	1	6,7	
	5	17	60,7	11	39,3	
	6	7	87,5	1	12,5	
Obturación	Infraobturada	18	72,0	7	28,0	0,403
	Sobreobturada	45	80,4	11	19,6	
Contorneadoanatómico	No	7	87,5	1	12,5	0,486
	Sí	56	76,7	17	23,3	
Uso de turbina 2	No	6	85,7	1	14,3	0,597
	Sí	57	77,0	17	23,0	
Uso de contra ángulo 2	No	9	81,8	2	18,2	0,729
	Sí	54	77,1	16	22,9	
Pulido de la restauración	No	2	40,0	3	60,0	0,236
	Sí	61	80,3	15	19,7	
Ajuste de oclusión	No	4	50,0	4	50,0	0,047
	Sí	59	80,8	14	19,2	
Ayuda del profesor 4	No	28	68,3	13	31,7	0,138
	Sí	35	87,5	5	12,5	

Motivación al paciente para la higiene

No	2	50,0	2	50,0	0,171
Si	61	79,2	16	20,8	

En la figura 16 se representan las notas obtenidas globalmente y en cada fase según el fracaso o no del procedimiento. Destaca que aquellos alumnos que obtienen puntuaciones superiores a 6 en las fases o 6,5 en la nota global la posibilidad de fracaso es muy reducida ($p=0,040$). La nota que resultó más predictiva fue la de la fase de obturación con un área bajo la curva de 0,87 (IC95% 0,78-0,95) (Figura 17).

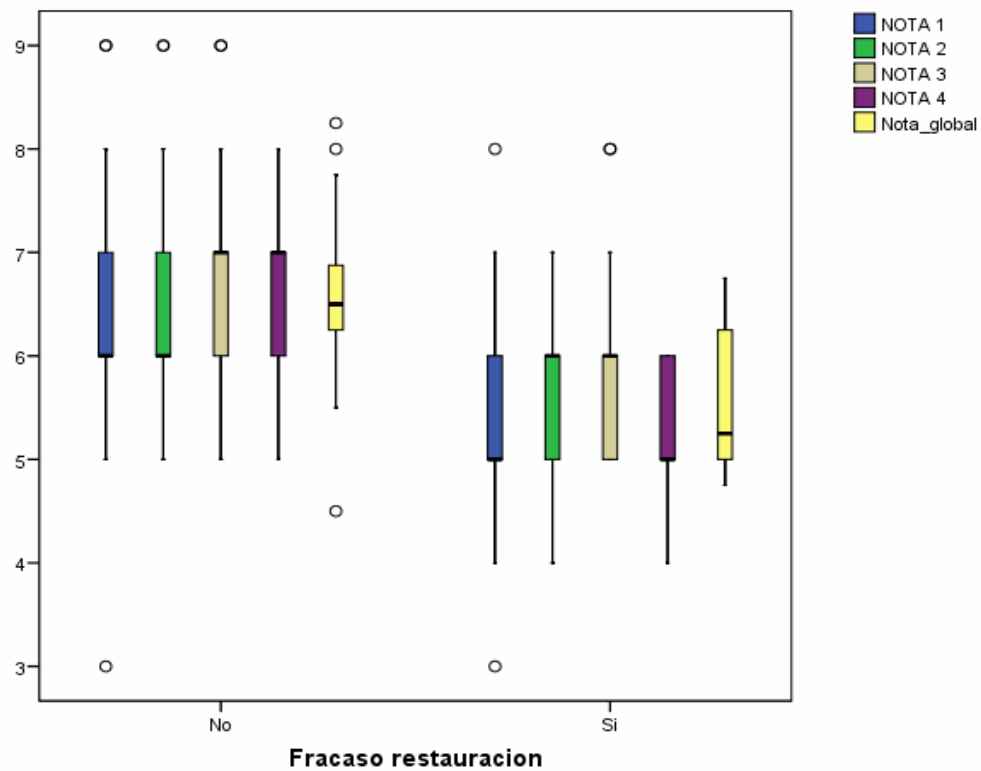
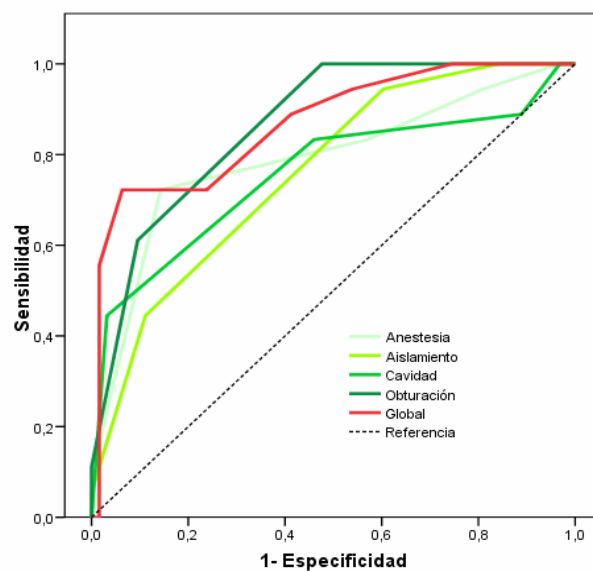


Figura 16. Distribución de frecuencia de las puntuaciones obtenidas de forma global y en cada fase del tratamiento según el fracaso o el éxito del procedimiento realizado por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).



	Área bajo la curva ROC	EE	P	IC95% AUC	
NOTA 1	0,79	0,07	0,000	0,65	0,92
NOTA 2	0,76	0,06	0,001	0,64	0,88
NOTA 3	0,76	0,08	0,001	0,61	0,90
NOTA 4	0,87	0,04	0,000	0,78	0,95
Nota global	0,87	0,05	0,000	0,77	0,97

Figura 17. Curvas de rendimiento diagnóstico (ROC) de las puntuaciones obtenidas de forma global y en cada fase del tratamiento que expliquen el fracaso o el éxito del procedimiento realizado por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).

Análisis multivariable de los factores relacionados con el fracaso del procedimiento realizado por los estudiantes de 4º Odontología.

En la tabla 21, se describen los modelos multivariantes ajustados para explicar los factores que predicen el fracaso del procedimiento realizado por los estudiantes de 4º Odontología. Las variables se han seleccionado a partir del análisis univariable y de realizar un análisis estratificado con el fin de detectar interacciones entre las variables independientes analizadas.

Se partió de un modelo completo en el cual se incluyeron las variables seleccionadas. El modelo se construyó con las variables de paciente, hábitos de cepillado y edad, y las variables del procedimiento las cuales incluyeron la contaminación con saliva, el cambio de dique, el uso de detector de caries, el número de paredes afectadas, el número de capas (3 o más), el ajuste de la oclusión, eliminando aquellas que tenían una alta correlación con las variables incluidas. Se incluyen las variables cuya p es igual o menor a 0,10.

Los factores independientes asociados a predicción de fracaso fueron, en las variables asociadas al paciente, los hábitos de cepillado ($p=0,003$) y la edad (0,089), y las variables pertenecientes al procedimiento, destacando de la fase de aislamiento, la contaminación con saliva ($p=0,022$), de la fase de realización de la cavidad, el uso de detector de caries ($p=0,041$) y el número de paredes afectadas ($p=0,048$) y de la fase de obturación, el número de capas ($p=0,079$) y el ajuste de la oclusión ($p=0,043$).

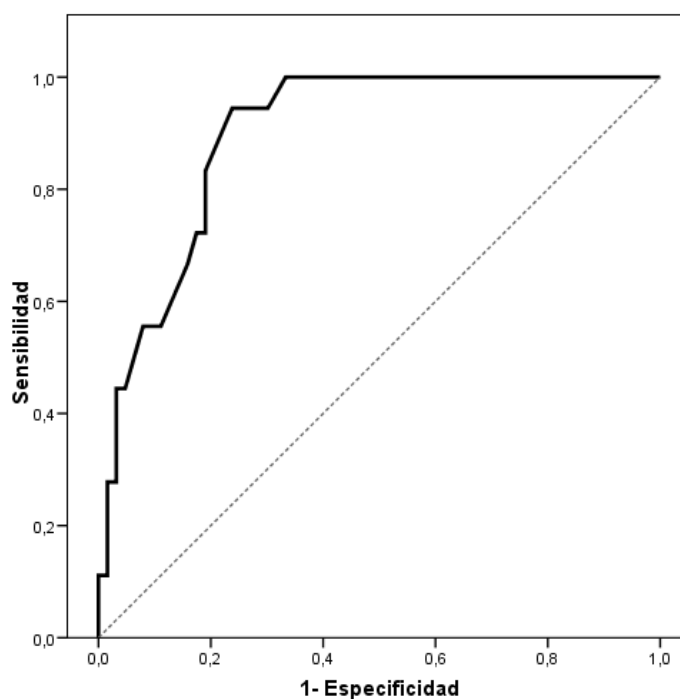
Tabla 21. Modelo de regresión logística de los factores independientes asociados a la probabilidad de fracaso de las restauraciones al año realizadas por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).

	Coficiente (beta)	EE	p	Odds ratio	IC 95% OR	
Modelocompleto						
Hábitos de cepillado (veces día) <2 vs. =>2	2,777	1,048	0,008	16,08	2,06	125,42
Edad (años)			0,238			
< 50				1		
50-65	-0,627	1,760	0,722	0,53	0,02	16,84
> 65	1,621	1,366	0,235	5,06	0,35	73,55
Contaminación con saliva	2,519	1,771	0,155	12,41	0,39	399,55
Cambio de dique	0,458	1,904	0,810	1,58	0,04	66,00
Uso de detector de caries	2,035	1,047	0,052	5,45	078	57,57
Ayuda del profesor en 3	1,245	0,985	0,206	3,47	0,50	23,94
Numero de paredesafectadas			0,609			
2				1		
3	-0,569	1,362	0,116	0,57	0,04	8,18
4	1,157	1,661	0,048	3,18	0,12	82,56
Grado de dificultad			0,416			
Alta	1,367	1,033	0,186	3,92	0,52	29,70
Media	0,958	1,487	0,519	2,61	0,14	48,03
Baja				1		
Nº de capas (3 o más)	2,543	2,098	0,226	12,72	0,21	777,22
Ajuste de oclusión	2,468	1,815	0,174	11,80	0,34	413,35
Ayuda del profesor en 4	1,125	1,027	0,274	3,08	0,41	23,06
Coficienteconstante	-9,851	4,754	0,038			
Modelo final						
Hábitos de cepillado (veces día) 2 o más vs. <2	2,598	0,860	0,003	13,44	2,49	72,50
Edad (años)						
< 50			0,118	1		
50-65	0,481	1,185	0,685	1,62	0,16	16,50
> 65	2,081	1,222	0,089	8,01	0,73	87,89
Contaminación con saliva	2,519	1,771	0,022	12,41	0,39	399,55
Numero de paredesafectadas			0,609			
3	-0,569	1,362	0,116	0,57	0,04	8,18
4	1,157	1,661	0,048	3,18	0,12	82,56
Uso de detector de caries	2,0134	1,147	0,052	7,65	0,98	59,63
Nº de capas (3 o más)	1,825	1,139	0,079	6,20	0,67	57,80
Ajuste de oclusión	2,376	1,173	0,043	10,77	1,08	107,27

Coefficiente constante	-6,654	2,144	0,002			
------------------------	--------	-------	-------	--	--	--

Modelo final: 94,4 sensibilidad y 76,2% especificidad

El modelo ajustado presentó un área bajo la curva de rendimiento diagnóstico de 0,898 (IC95% 0,831-0,965), lo cual refleja una excelente discriminación a partir de las variables seleccionadas en relación a la probabilidad de fracaso del procedimiento (Figura 18). La sensibilidad fue de 94,4%, es decir de 100 fracasos del procedimiento estas variables detectan bien a 94 de ellos. La especificidad fue de 76,2%, es decir que de 100 curaciones el modelo clasifica bien a 76 de ellas.



Área bajo la curva ROC	EE	P	IC95% AUC	
0,898	0,034	0,000	0,831	0,965

Figura 18. Curva de rendimiento diagnóstico (ROC) del modelo de regresión logística ajustado para explicar el fracaso al año del procedimiento realizado por los estudiantes de 4º Odontología (n=81).

En las figuras 19 y 20 se recogen las probabilidades medias de fracaso ajustadas por el modelo de regresión logística. En la figura 19 se observa como se incrementa la probabilidad de fracaso según las variables de paciente al incrementarse la edad y sobre todo cuando no se observan unas buenas pautas higiénicas. La probabilidad de fracaso se incrementa hasta el 63% en sujetos de más de 65 años con unos hábitos de cepillado menores de 2 veces al día.

En la figura 20, se observa el incremento de la probabilidad de fracaso ajustada al incrementarse la edad del paciente y existir una contaminación de saliva, alcanzando un 69% de fracaso en sujetos de 50 a 65 años de edad con contaminación de saliva durante el procedimiento.

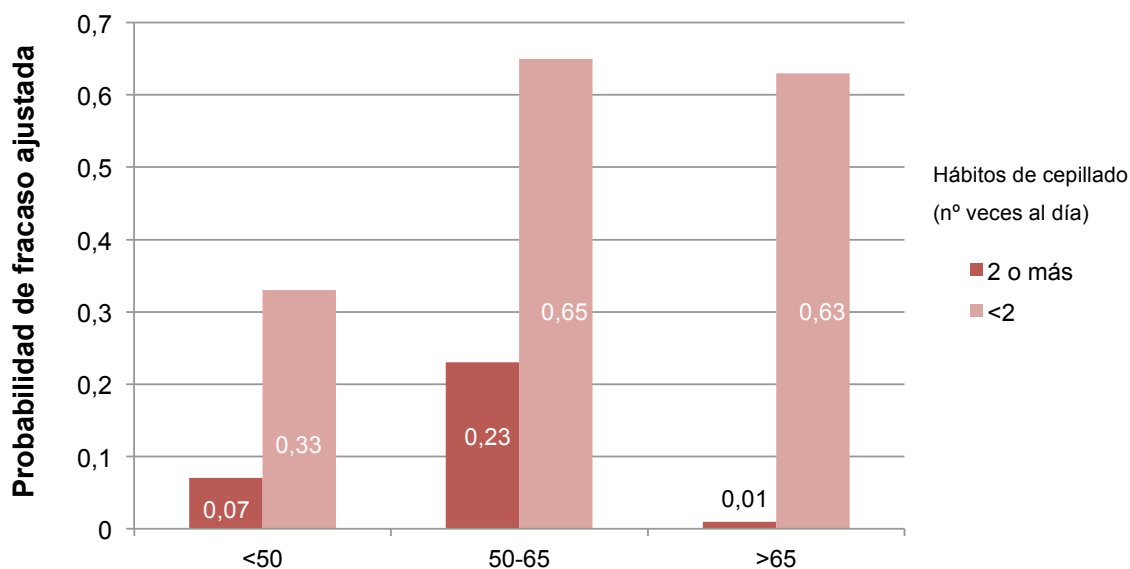


Figura 19. Probabilidad de fracaso ajustada por el modelo de regresión logística para explicar el fracaso al año del procedimiento realizado por los estudiantes de 4º Odontología según la edad del paciente y los hábitos higiénicos (n=81).

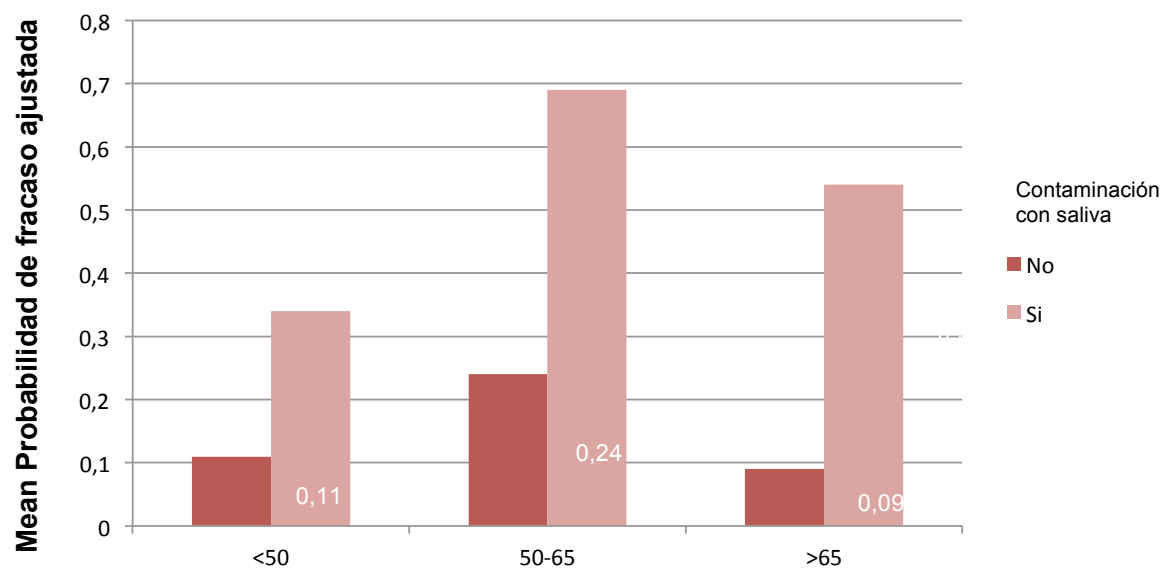


Figura 20. Probabilidad de fracaso ajustada por el modelo de regresión logística para explicar el fracaso al año del procedimiento realizado por los estudiantes de 4º Odontología según la edad del paciente y la incidencia de contaminación con saliva durante la fase de aislamiento (n=81).

DISCUSIÓN



6 DISCUSIÓN

6.1 Del planteamiento

La resina compuesta es el material universal de las restauraciones dentales en el sector posterior, por sus propiedades físicas, ópticas, mecánicas y estéticas. Desbancó a la amalgama de plata ante la demanda estética por parte de los pacientes, haciendo que se encuentre en desuso a nivel mundial [1, 13, 14, 103-105].

El fracaso de las obturaciones de composite en el sector posterior es elevado respecto a la amalgama, dando lugar a un mayor número de retratamientos [10, 14, 68, 106]. Puede deberse a factores propios del material (a solventar por la industria) o factores asociados a la técnica que empleamos en la realización del tratamiento [15, 22, 24, 69, 109].

Los estudiantes de 4º curso del Grado de Odontología ocupan un tiempo importante de la práctica clínica diaria realizando restauraciones de resina compuesta en el sector posterior, consideramos que al fracasar la obturación, y tener que retratar el diente puede conducir a un aumento del tamaño de la cavidad, y, finalmente, a la destrucción del diente [1-3, 20, 106-110].

A finales de los noventa, la Odontología y la Docencia Universitaria experimentaron un notable cambio en la utilización de los materiales de obturación por la mejora de propiedades de los composites y la demanda estética de los pacientes [14, 15, 17, 24, 28, 29, 30, 68, 111-126].

En Europa, estudios recientes muestran la utilización predominante de resinas compuestas en el sector posterior y un uso casi insignificante de la amalgama [14, 15, 24, 27, 30].

6.2 Del método

El razonamiento humano se basa en el razonamiento mediante ejemplos y casos; así, cuando nos encontramos con un problema nuevo, empleamos conocimiento previo para ayudar a resolverlo, y dar la solución aproximada a dicho problema. Por lo tanto, los humanos utilizan lo aprendido en experiencias previas para resolver problemas presentes [33, 34, 36, 42, 49].

El CBR es una rama de la inteligencia artificial que utiliza como base al modelo humano [33-40], es un conjunto de técnicas para el desarrollo de sistemas basados en el conocimiento que recupera y reutiliza las soluciones pasadas para resolver problemas parecidos y así obtener mejores resultados [39, 47, 52].

Así pues, es un enfoque que aborda nuevos problemas tomando como referencia problemas similares resueltos en el pasado. Problemas similares que tienen soluciones similares, y la similitud juega un rol esencial [47,49- 51].

La utilización de CBR aplicado en el campo de la biomedicina es un campo joven, hasta ahora se ha utilizado en una gran variedad de problemas médicos: en residencias sanitarias como método de control, en hipotiroidismo, en pacientes hemodializados o diabéticos, como método diagnóstico del grado de estrés de los pacientes, como método predictivo de evolución de cánceres o de leucemias. La Odontología es un campo muy novedoso, el CBR desarrolla modelos de razonamiento predictivo, aplicables al fracaso de las restauraciones del sector posterior y establecer los factores y causas del mismo [34, 47, 48, 50].

El CBR también se ha utilizado en estudios dónde el tamaño muestral era pequeño y con un número indeterminado de variables a estudiar [34, 35, 39, 47].

Además hemos utilizado la estadística inferencial para complementar y validar los resultados obtenidos por el CBR, en cuanto a establecer los factores

que influyen en el fracaso de las restauraciones e identificar las causas del mismo, y desarrolló un modelo predictivo haciendo uso de la regresión logística para predecir el fracaso [1, 63, 64].

La longevidad y el fracaso de las resinas compuestas ha sido ampliamente estudiada, mediante estudios a largo plazo con tamaños muestrales grandes [3,27,104,108,111]. Sin embargo, encontramos pocos trabajos que evalúen el estado de la restauración al año [12] y realizados sobre pacientes tratados por estudiantes supervisados, evaluados y monitorizados por un profesor-evaluador [29, 69, 73, 112].

La longevidad de la restauración se puede evaluar de diferentes maneras: mediante ensayos controlados, aleatorios, clínicos, estudios prospectivos y retrospectivos, análisis transversal, estudios de cohortes y análisis de bases de datos [70, 72].

En nuestro trabajo, hemos realizado una evaluación longitudinal del tratamiento realizado por los estudiantes de PTD II y de las herramientas empleadas para poder predecir el fracaso en condiciones bien definidas.

Estos estudios son difíciles de realizar, por lo tanto, se hace necesario un cambio de actitud, monitorizando los tratamientos para tener un control y establecer un criterio universal aplicable a aquellas restauraciones que van a fracasar, habiendo sido identificadas por el modelo predictivo, desarrollado por la estadística inferencial y por el Sistema de Razonamiento Basado en Casos [97-102, 33-4].

El principal problema que hemos encontrado ha sido localizar una muestra que tuviese todos los criterios de inclusión establecidos, y por lo tanto, nuestro estudio ha quedado reducido a 81 pacientes, siendo el criterio de inclusión, revisión anual, el que ha empobrecido la muestra a 81 pacientes.

Podemos afirmar que en el diseño del estudio es importante solucionar el problema de número de pacientes. No obstante, es muy difícil establecer un número mínimo de casos necesarios.

Este estudio realizado por estudiantes del Grado de Odontología se ha llevado a cabo en la práctica clínica de la Universidad Complutense de Madrid, donde el tiempo y los costes pueden ser diferentes a una clínica dental privada. Estas diferencias podrían desafiar la aplicación de los resultados obtenidos a aquellos pacientes que son tratados en la práctica dental privada.

Por otro lado, son necesarios más estudios pormenorizados de todas las variables señaladas como variables de riesgo para el fracaso, que pudieran aclararnos si realmente influyen o no.

No obstante, son necesarios más casos para ampliar los problemas y soluciones que el experto introduce en el sistema inteligente y de esta forma elevar la capacidad predictiva del CBR. Además, incrementando la muestra se podrían establecer verdaderas diferencias entre las variables de riesgo y las variables que nos confunden en los fracasos.

El estudio realizado es, en este momento, un punto de partida para posteriores investigaciones más pormenorizadas y establecer una metodología adecuada, dirigida a los estudiantes, con el objetivo de mejorar en el futuro tanto la enseñanza de la práctica odontológica como a optimizar resultados en la práctica privada ante la problemática del fracaso de las restauraciones de resina compuesta y pronosticar el éxito o fracaso de los diferentes tratamientos dentales que se realizan a los pacientes.

6.3 De los resultados

En el análisis de los resultados las **variables asociadas al fracaso**, se dividieron en variables del paciente y del tratamiento, siguiendo este orden vamos a proceder a la discusión de los resultados.

Las variables del paciente, **edad y hábitos de cepillado**, están asociadas al fracaso de la restauración de resina compuesta. Resultados que coinciden con estudios anteriormente realizados por Mjor y cols. y posteriormente por Qvist y cols. [113, 114].

En nuestros resultados, observamos que en los pacientes de edad más avanzada y con escaso hábito de cepillado, la probabilidad de fracaso se incrementa hasta el 63% en sujetos de más de 65 años con un hábito de cepillado menor de 2 veces al día.

Las investigaciones realizadas en diversos estudios como el de Makhija [73], muestran que los factores del paciente correlacionados con el fracaso de la restauración son: edad, género, riesgo de caries y hábitos parafuncionales. En nuestro estudio, el índice de fracaso de la variable hábito de cepillado se incrementa 8,33 veces en aquellos pacientes que no realizan ningún cepillado o uno al día frente a los que realizan al menos dos.

Referente a la variable **edad del paciente** se ha observado que es un factor importante e influyente en la longevidad de la restauración, aunque hay mucha controversia; Burke y cols. realizaron un estudio en pacientes mayores, llegando a la conclusión que los pacientes mayores de 65 años presentaban una tasa de supervivencia de las restauraciones de resina compuesta en sector posterior más baja que en pacientes más jóvenes [67]; estos resultados coinciden con nuestra investigación. Sin embargo, hemos encontrado investigaciones, donde el riesgo de fracaso de las restauraciones de composite disminuyó con el aumento de la edad del paciente, y la caries tiene una incidencia mayor en adolescentes que en los adultos [42, 73, 75].

En la misma línea, Hawthorne y cols. observaron que las tasas de supervivencia más bajas se produjeron cuando las restauraciones se colocaron en los pacientes menores de 20 años de edad en comparación con los 21 a 40 años de edad [135].

Por otra parte, se observó que la variable, género, tiene poca importancia para la supervivencia a largo plazo de las restauraciones [31, 67, 69].

Schwartz y cols. corroboraron las investigaciones anteriores al justificar que las lesiones proximales progresan a través del esmalte más lentamente en adultos que en los adolescentes [115].

Las diferencias referentes a nuestros resultados vienen dadas porque la media de edad de los pacientes fue de 55,5 años considerando que están dentro de la última fase de la etapa de adulto.

Referente a los resultados de hábito de higiene oral, la variable **hábito de cepillado**, el 24,7% de los pacientes se cepillan una vez al día y un 1,2 % ninguna vez. El cepillado menor de dos veces al día tiene una relación directa con el fracaso de la restauración. En la actualidad y con la información que se maneja en los medios de comunicación sobre la prevención de caries y medidas de higiene bucodental, todavía hay población que no practica ninguna actividad de higiene bucodental, como lo indica el 1,2% de la muestra, que manifiestan nunca realizar práctica de cepillado [32, 67, 76, 116, 135-138].

El estudio “Salud bucodental en los mayores” realizado por el Instituto de Salud Pública de la Consejería de Sanidad obtuvo resultados en una población de jubilados, donde un 52,8% no se cepillan los dientes ninguna vez al día, 25,9% solo cepillan una vez al día y el 21,2% lo realizan dos o más veces [136, 165].

Los resultados de nuestro estudio, se asemejan a los registrados con la investigación de salud oral de España, de Pinzón y cols. y a los de Shah y cols. Aunque estos últimos encontraron una asociación de variables, entre hábitos

de higiene y localización de la pieza dental, justificado porque el acceso para el tratamiento dental es mejor y las medidas de higiene oral son más fácilmente controladas por el paciente [116, 137].

Bravo Pérez y cols. en su trabajo, presentaron datos de una muestra de adultos con edad de entre 65 y 74 años y la participación de personas no institucionalizadas y algunas, pertenecientes a centros geriátricos. Aunque nuestros resultados son mayores, sobre todo en el grupo que se cepilla dos o más veces al día, nuestra muestra corresponde a personas no institucionalizadas y representa el total de la muestra de más de 55 años de edad [138].

El trabajo de Pinzón y cols. tiene una recogida de datos cualitativa y es diferente a la realizada en nuestro estudio, respecto a la variable hábito de cepillado, sin embargo, los resultados en las personas que nunca se cepillan (12%) se asemejan a los nuestros (8%), coincidiendo también los resultados en aquellas personas que se cepillan al menos 1 vez al día (no tiene categoría de 2 o más veces). La muestra de pacientes es similar al estudio de Bravo Pérez y cols. en personas institucionalizadas [137, 138].

Shah y cols. en un estudio en personas mayores no institucionalizadas, valoraron el impacto de la higiene dental, donde el 6,8% de la muestra, no realizaban cepillado dental, siendo el índice más bajo de sus resultados, lo cual coincide con nuestro grupo de sujetos que nunca se cepillan, constituye el grupo más pequeño de los tres [116].

Para el análisis de los resultados de las **variables asociadas al fracaso de la restauración** se dividió en cuatro fases clínicas y siguiendo este orden vamos a proceder a la discusión de nuestros resultados: fase de anestesia, fase de aislamiento, fase de preparación de la cavidad y fase de obturación. Cada fase fue evaluada individualmente, por el examinador-profesor.

No se observaron diferencias entre las variables estudiadas asociadas al fracaso de la restauración en la fase de anestesia [4, 11, 76, 103-105, 109].

Por el contrario en la fase de aislamiento en la cual la contaminación con saliva, cambio de dique o incidencia [4, 29, 69, 112, 114], durante el procedimiento se asociaron significativamente a un incremento en la probabilidad de fracaso de la restauración, alcanzando un 70% de probabilidad de fracaso en los pacientes que presentaron incidencias durante el procedimiento.

Las variables **incidencia** en la fase aislamiento, perforación del dique de goma y **contaminación por saliva**, es estadísticamente significativa. La contaminación con saliva (18,5%) supuso que 10 estudiantes cambiaron el dique durante esta fase, esto coincide con estudios realizados por Mjor [34] en donde la utilización del dique de goma u otro método de aislamiento es considerado como un factor de riesgo en el fracaso de las restauraciones, por la contaminación del campo operatorio, dificultando la fase de adhesión [1, 4, 5, 11, 18, 28].

El aislamiento de elección en nuestro estudio fue el dique de goma en el 91,4% de los casos. La utilización del aislamiento absoluto del campo operatorio con dique de goma mejora la calidad del tratamiento, la comodidad del operador y la protección de éste y del paciente [1, 3, 14, 67, 103].

La longevidad de las restauraciones dentales como hemos dicho anteriormente, depende de diferentes factores, variables relacionadas con el paciente [1, 8, 10, 31, 73] y con el estudiante [29, 67, 69, 73, 112]. Sin embargo, se puede observar en otros trabajos, Opdam y cols. que el uso constante del dique de goma en la fase de aislamiento del campo operatorio, se asoció con altas tasas de supervivencia de las restauraciones de resina compuesta después de 5 años del tratamiento [112].

En nuestro estudio sólo hemos tenido en cuenta como incidencia en la fase de aislamiento, la perforación del dique de goma y contaminación por saliva, asociada al fracaso de la restauración de resina en un 70% de los casos [66].

Estudios de Roahen y cols. tuvieron en cuenta el contacto entre el dique y la superficie externa de la corona, así como las irregularidades, que posibilitó la no adaptación entre ambos pudiendo ocasionar microfiltración de fluidos orales y lo consideró como factor de riesgo, él sugirió que la corona presenta concavidades e irregularidades donde, se crea un espacio entre el diente y el dique de goma, incrementando el riesgo de filtración salival, aunque el contacto entre el dique de goma y el diente, es fuerte, raramente encontramos en la práctica clínica diaria que el área de contacto de la superficie del diente sea suave, convexa y sin irregularidades [117].

En la fase de realización de la cavidad la competencia que debe adquirir el estudiante de PTD II está basada en el manejo de caries, eliminando el tejido enfermo y tratando de ser lo más conservador posible con el fin de preservar la mayor cantidad de tejido dentario [15, 66, 118, 119, 120], y de esta forma disminuir el debilitamiento de la estructura, conservar la vitalidad pulpar y evitar restauraciones innecesarias [127, 128]. Durante una preparación cavitaria, se busca eliminar únicamente la dentina externa infectada; mientras que la dentina desmineralizada y afectada, pero no infectada, no debe ser removida [10, 18, 30, 121]. Para ello se hace uso de los detectores de caries que son una medida complementaria para detectar la presencia de caries remanente en la cavidad que se está realizando, pero nunca será la única guía [15, 123, 124, 125, 126]. Generalmente el odontólogo utiliza criterios visuales y táctiles para determinar si una preparación cavitaria está libre de caries [128,129]. Aunque algunas investigaciones, Ismail y cols. evidencian que estos procedimientos son bastante precisos y seguros otros estudios realizados a estudiantes demostraron altos rangos de error de diagnóstico, que van desde 54% hasta 78.4% dependiendo de los autores [123, 124, 125, 126].

Respecto a las variables evaluadas en la fase de realización de la cavidad, en el tratamiento realizado por los estudiantes de PTD II, encontramos un 63,0% de los estudiantes que optaron por usar el detector de caries para identificar mejor la lesión. Sin embargo, en el 37,0% de los estudiantes no usó el detector de caries.

En el análisis de la dependencia de la variable **no uso del detector de caries** se establece, que es una variable esencial para predecir el fracaso de las obturaciones, por la precipitación y no realización de forma adecuada de esta fase clínica. Estudios previos realizados por Pratap Singh y cols. y Unlu y cols. muestran que los detectores de caries ayudan al clínico a distinguir entre los dos tipos de dentina y evitar la eliminación de tejido dentario sano sin dejar dentina infectada que podría provocar que la lesión progrese posteriormente [1,128,129]. Estas sustancias-colorantes propuestas por Fusayama y cols. están constituidas a base de fucsina básica al 0.5% en propileno-glicol [76, 130]. La metodología para su uso es muy sencilla y rápida. La cavidad debe lavarse y secarse, aplicamos el detector, se deja actuar diez segundos, siempre siguiendo las instrucciones de uso indicadas por el fabricante, se lava y seca, quedando la lesión coloreada. Indica la afectación del tejido enfermo [126, 127, 128, 129, 130].

El análisis de la variable **número de paredes afectadas**, también mostró tener un efecto significativo en el fracaso de las restauraciones de composite. Nuestros resultados en la fase de realización de la cavidad, el orden de frecuencia en el número de paredes afectadas por caries fue de 2, seguida de 4 paredes. El riesgo de fracaso de las cavidades con afectación de 4 paredes fue del 33,3%, en las de 3, 23,5%, en las de 2, 9,7%. Nuestras investigaciones coinciden con los estudios realizados por Bernardo y cols. y Soncini y cols. que muestra mayor tasa de fracaso en cavidades grandes en comparación con otras más pequeñas, las restauraciones grandes y aquellas con tres o más superficies a restaurar presentaban tasas medias de fracaso anual desde 4,15 hasta el 9,43% [131, 132, 133, 134]. Nuestro estudio ha encontrado relación

directa entre las variables **número de paredes afectadas** y **tamaño de la cavidad**, por lo tanto, se pone de manifiesto que las cavidades grandes tienen una supervivencia significativamente menor en comparación con las cavidades pequeñas.

Estudio realizados por Simecek y cols. corroboraron que cuanto mayor sea el tamaño de la cavidad, más corta será la longevidad de la restauración, y pone en duda la importancia y el impacto de la técnica de preparación [133, 134].

Opdam y cols. también establecieron que las restauraciones más grandes funcionaban peor, independientemente del material utilizado. Aún cuando las tasas de fracaso anuales medias, tanto para amalgama como para composite aumentaban conforme aumentaba el tamaño y el número de superficies afectadas, este incremento se acentuaba más claramente en las restauraciones con composite [68].

Chambers y cols. establecieron que la mayor longevidad de las resinas compuestas no sólo puede ser resultado de la creciente habilidad de los odontólogos en el uso de los materiales, sino además en los nuevos métodos de preparación de la cavidad [144]. Los estudiantes deben seguir los criterios ideales de preparación y diseño de cavidades con técnicas de mínima invasión para preservar la máxima estructura dental [6, 28, 145].

Entre los aspectos considerados en la fase de obturación de la cavidad, en el tratamiento inicial realizado en las piezas dentarias tratadas por los estudiantes de 4º Odontología, el tipo de adhesivo y el grabado fueron de tipo autograbante en todos los casos realizados.

La variable asociada al fracaso de la restauración en la fase de obturación, resultó ser el **número de capas**, encontramos que las obturaciones con 2 capas el índice de fracaso es del 21,1 %. Todos los estudiantes incluidos

en este estudio obturaron la cavidad realizada mediante técnica incremental convencional en el sector posterior.

Otros estudios con un tamaño muestral menor ($n=60$) y una técnica diferente de obturación (al utilizar resina fluida en todo el piso cavitario), presentaron resultados similares al encontrarse en ambos trabajos una diferencia estadísticamente significativa, en el fracaso de las restauraciones de resina compuesta, siendo menor al utilizarse resina fluida en piso cavitario [9, 16, 29].

Investigaciones de Kormaz y cols. realizaron obturaciones de molares con resina compuesta y base fluida, y otros sólo con resina compuesta. Concluyó que la utilización de resina fluida en piso cavitario obtuvieron menor microfiltración [139, 140].

Respecto a la variable **ajuste de oclusión** es significativa, obteniendo un 50% de fracasos de la restauración cuando no se ajusta la oclusión (9,9% de los casos) y un 19,2% de fracasos de la restauración cuando se ajusta la oclusión (90,1%).

En nuestros resultados el 90,1% de los estudiantes ajustó la oclusión, estudios, como el de Mac Neill y cols., incluyeron la variable bruxismo, como variable asociada al fracaso por fractura de la restauración, debido al gran potencial de desgaste que presenta [140]. Nuestro estudio no tuvo en cuenta la variable bruxismo como variable asociada al fracaso de la restauración.

Celar y cols. consideraron que la oclusión dentaria es uno de los factores más importante a ajustar, tras modificar la anatomía dental y que el mantenimiento del equilibrio forma-función es importante para la estabilidad del aparato masticatorio, obteniendo un 5% de fracasos por fractura de la restauración, al no ajustar de manera correcta la oclusión de las restauraciones de resina compuesta estudiadas [141,142]. También concluyeron que era importante realizar un control periódico de la oclusión tras haber realizado un

tratamiento restaurador para efectuar ajustes menores [143]. Mac Neill y cols. concluyeron en su investigación que una restauración de resina compuesta esta abocada al fracaso si no se ajusta adecuadamente la oclusión de la pieza dental tratada [140].

La **probabilidad** global de **fracaso** de las restauraciones de composite realizadas por los estudiantes de PTD II, fue de **22,2%**, la causa de los fracasos obtenidos en este estudio se debieron en un 18,5% **a filtración de la obturación** y en un 3,7% a la **fractura de la resina compuesta**.

Nuestros resultados difieren muy significativamente con estudios de Opdam y cols. dónde el índice de fracaso anual medio fue de 2,8%, de las restauraciones realizadas por odontólogos en prácticas privadas [4].

En éste aspecto, los resultados del presente estudio también fueron comparados con los resultados obtenidos en una investigación realizada por Mjor y cols. que indican una tasa de supervivencia del 50% de las restauraciones de resina compuesta realizados en la práctica privada tras 8 años, obteniendo una tasa de fracaso anual de 6.3% [122].

Por el contrario, la tasa de fracaso es baja con respecto a otras investigaciones obtenida durante un año, Unemori y cols. con una tasa de fracaso media anual de restauraciones de resina compuesta de hasta un 30% [146].

En estudios de Hickel y cols., Da Rosa y cols. y Ferracane y cols. realizados a largo plazo sobre la longevidad de restauraciones de resina en el sector posterior, lograron tasas de éxito diferentes, la mínima fué de 76.6% después de 3 años [1, 3, 24].

En el análisis de las variables relacionadas con el alumno y paciente, asociadas a la probabilidad de fracaso de la restauración al año, realizadas por los estudiantes de PTD II, encontramos que los datos comparativos de los cursos 2011-2012 y 2012-2013 no revelan diferencias significativas aunque se

aprecia una reducción relativa del riesgo de fracaso del 46% para el curso 2012-2013. Las variables de alumno analizadas no han resultado significativas.

Opdam y cols. observó que el estudiante de Odontología, relativamente inexperto, realiza la cavidad siguiendo el mismo protocolo clínico que el odontólogo experimentado, debido a que los tratamientos fueron llevados a cabo por los estudiantes bajo la supervisión del profesor-evaluador pudiendo tener un efecto positivo en cuanto a la realización y obturación de la restauración por parte del estudiante, es posible que la supervisión garantice y optimice los resultados del tratamiento restaurador [112].

En la mayoría de los estudios realizados en clínicas Universitarias los odontólogos-profesionales tienen experiencia, por lo que se puede esperar que la tasa de supervivencia sea más alta en comparación con nuestro estudio, en el que todos los pacientes fueron tratados por estudiantes con una experiencia clínica limitada [29, 106, 112, 144].

Según Sobral y cols. una restauración es generalmente exitosa y la incidencia de fracaso se acerca a cero cuando se utiliza la técnica correcta y las competencias de preparación de la cavidad y restauración son adquiridas y empleadas cuidadosamente [148].

En éste trabajo, todas las fases de las restauraciones fueron examinadas por un profesor-evaluador para que no hubiera diferencia significativa en las tasas de fracaso entre más de un profesor-evaluador. También los operadores utilizaron siempre un único material de restauración, sin opción a elegir otros materiales de resina compuesta.

Con respecto a los resultados obtenidos en nuestra investigación sobre la etiología podemos decir que un **18,5% de los fracasos** obtenidos en este estudio se debieron a la **filtración de la obturación**, pudiendo generar caries, varios estudios han propuesto caries secundaria como la principal razón para el fracaso de la restauración [1-5, 27, 32, 67- 70, 72].

Investigaciones como la de Gordan y cols. acerca de la longevidad de las restauraciones de resina compuesta en sector posterior indican que la caries secundaria es el motivo del retratamiento en el 33-65% de las restauraciones de resina fracasadas [73].

En una revisión realizado por Qvist y cols. sobre la longevidad de las restauraciones de resina en el sector posterior, la caries secundaria todavía se considera una de las principales razones para el fracaso [109] Mjor y cols. en otra revisión, coincidió, al establecer la caries secundaria como la razón principal de fracaso de las restauraciones dentales en la práctica general [122] y representa hasta el 50% de todos los procedimientos de operatoria dental realizados en adultos [24, 67, 68, 69].

Donly y cols. informaron de fracaso debido a caries secundaria y fracturas principalmente en restauraciones de molares [149]. Sin embargo, Manhart y cols. informaron de diferencias significativas entre los premolares y molars [5, 24, 29].

Nosotros no hemos encontrado evidencia significativa en la localización de la caries secundaria en nuestras investigaciones.

En investigaciones sobre la longevidad de la resina compuesta, Van Dijken y cols. relacionaron los dos factores del fracaso de la restauración que hemos obtenido en nuestro estudio, llegando a la conclusión que la principal causa de fracaso en las evaluaciones de un máximo de 5 años fue fractura de la restauración de composite, mientras que la principal razón para el fracaso en los estudios de 6 a 17 años fue de caries secundaria [2, 10].

Encontramos investigaciones como las de Wang y cols. que establecieron que el uso de las resinas compuestas en el sector posterior es cuestionable debido a que los materiales actuales no tienen un efecto anticaries o una resistencia a la filtración. Sin embargo existen líneas de investigación de adhesivos con cualidades antibacterianas [150, 151].

Con respecto a los resultados obtenidos sobre la otra causa encontramos un **3,7% de los fracasos** de las restauraciones de resina compuesta fueron debidos a la **fractura de la restauración**. También la variable fractura es considerada en múltiples estudios como una de las causas más frecuentes de fracaso de los composites. Puede ser que el origen sea por las propiedades del material, tales como polimerización insuficiente de la resina compuesta o un espesor insuficiente [15, 22, 121, 139, 148].

En los resultados de nuestro estudio coincidimos con otras investigaciones, como los de Henostroza y cols. donde la resistencia a las diferentes fuerzas a las que puede ser sometido un material en la cavidad oral es un criterio importante que se debe tener en cuenta para evaluar la calidad de la resina compuesta que se piensa emplear en restauraciones dentales en el sector posterior, por lo tanto son necesarios más estudios clínicos [152].

D'Arcangelo y cols. observaron que algunas restauraciones de resina evaluadas en su investigación habían experimentado un deterioro significativo de los márgenes de la restauración provocando una decoloración marginal; en sus resultados observó que la decoloración marginal estaba asociada al fracaso de la restauración por fractura, sin embargo nosotros no asociamos en nuestro estudio esta variable al fracaso por fractura de la restauración. Consideraremos en futuras investigaciones incluir esta variable en nuestro estudio para analizar si influye en el fracaso de la restauración [22, 23].

Un problema asociado al fracaso, sin poder afirmar que sea fracaso de la obturación, es la sensibilidad post-operatoria, relacionada con la metodología de adhesión seguida, procedimiento que no se ha realizado correctamente debido a la inadecuada selección de materiales y problemas asociados a la técnica [4, 5, 15, 25, 32].

Se ha encontrado en varios estudios que los adhesivos de auto-grabado conducen a una menor sensibilidad [13, 25, 146, 147] sin embargo, en la literatura reciente y en los resultados obtenidos en este estudio, el problema de

sensibilidad parece ser menos prominente, lo que podría estar relacionado con un mayor conocimiento sobre la correcta aplicación de los agentes adhesivos y un mayor uso de los materiales de auto-grabado. Un estudio relativamente reciente sobre sensibilidad postoperatoria encontró una relación directa con el tamaño de la cavidad [73, 154-157].

En nuestro estudio, el **poder predictivo** que alcanzó el **CBR** **fué de 92.5%** de tasa de acierto mientras que la capacidad de predicción mostrada por la **estadística inferencial** **fué de 89,8%**. La comparación de ambos métodos extrae similares conclusiones en cuanto a la capacidad de discriminación y predicción del fracaso de las restauraciones de resina compuesta realizadas por estudiantes de Odontología. El análisis de los resultados obtenidos mediante la Bioinformática, el Sistema de Razonamiento Basado en Casos, y mediante la estadística inferencial, establece que ambas son herramientas útiles en la realización de un modelo predictivo que nos permite predecir el fracaso de las restauraciones. La utilización del CBR por lo tanto tiene un lugar en estudios con tamaños muestrales pequeños con gran cantidad de variables a estudiar, lo cual posibilita que dichos análisis tengan un lugar en estudios dónde la estadística inferencial presenta limitaciones (tamaño muestral y número de variables).

Comparamos los resultados obtenidos mediante diferentes técnicas de Inteligencia Artificial sobre la relevancia de las variables con la información previamente conocida, ya que se puede prever en un 92,6% de los casos la solución final del tratamiento.

Los datos obtenidos por el CBR han sido relevantes, durante la etapa de reutilización se aplicaron diferentes algoritmos, en este caso el clasificador que mejores resultados ha dado ha sido MultilayerPerceptron que ha obtenido un AUC de 0.9257672, que indica que el poder predictivo del Sistemas de Razonamientos Basados en Casos es de un 92,5% de acierto, frente al 0.8928571 máximo que se había obtenido antes de aplicar el filtrado. Van den Brade y cols. aplicando el algoritmo redes bayesianas, en su estudio

alcanzaron un 85% de predicción en problemas aplicados al registro de datos de pacientes en las historias clínicas [46].

El modelo desarrollado por la **estadística inferencial** no sólo ha mejorado la capacidad de predicción obtenida por Sarret y cols. sino también proporcionó una visión a nivel docente de las oportunidades que nos puede aportar en cuanto a la evaluación de competencias de los estudiantes del Grado de Odontología en la Universidad Complutense de Madrid [66, 161, 162].

Encontramos que la evaluación de las competencias de la asignatura de Patología y Terapéutica Dental II de los estudiantes está asociada al fracaso de la restauración, la evaluación de las competencias está basada en la evaluación de los conocimientos y habilidades del estudiante. Un estudio realizado por Coppola y cols. [158] reveló que los estudiantes de pregrado inexpertos estaban más estrechamente asociados con ciertos tipos de fracaso de restauraciones que los estudiantes con más experiencia [112].

El estudio también evaluó las competencias adquiridas por los estudiantes, para identificar aquellos que no están adquiriendo las competencias de la asignatura de PTD II, que están relacionadas con destreza manual y no demuestran la habilidad necesaria para aplicar todos los conocimientos teóricos y prácticos en clínica con pacientes [15, 66, 119, 120, 161]. Destacamos que aquellos alumnos que obtuvieron evaluaciones superiores a 6 en cualquiera de las fases del tratamiento o 6,5 en la evaluación global la posibilidad de fracaso es muy reducida ($p=0,040$). La evaluación de las competencias obtenidas en cada fase del tratamiento realizado por los estudiantes de Patología y Terapéutica Dental II que resultó más predictiva fue la de la fase de obturación de la cavidad con un área bajo la curva de 0,87.

Coincidiendo con trabajos de Correa y cols. el modelo predictivo creado por el CBR, es levemente más predictivo debido a que este tipo de herramientas nos permite el mayor aprovechamiento de recursos,

conocimientos, desarrollo de capacidades y competencias que debe adquirir el estudiante de Patología y Terapéutica Dental II y a que esta herramienta al predecir el fracaso de la restauración de resina hace que el profesor-evaluador identifique a estos estudiantes y establezca una metodología más adecuada al perfil mostrado por el estudiantes y su ritmo de aprendizaje [66, 158, 159, 160].

El modelo predictivo creado por la estadística inferencial debería haberse realizado con un tamaño muestral mayor, este tipo de herramientas nos permite predecir el fracaso de la restauración de resina y permitir mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje en asignaturas [36, 63, 64, 65, 160].

PARTE 2

THE USE OF CASE-BASED REASONING
SYSTEM AND INFERENTIAL STATISTICAL
ANALYSIS IN THE PREDICTION OF RESIN
RESTAURATIONS FAILURE IN THE
POSTERIOR TEETH

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

Departamento de Estomatología II. Odontología Conservadora.

UNIVERSIDADE DO MINHO

Facultad de informática. Escola de engenharia.



**THE USE OF CASE-BASED REASONING
SYSTEM AND INFERENTIAL STATISTICAL
ANALYSIS IN THE PREDICTION OF RESIN
RESTAURATIONS FAILURE IN THE POSTERIOR
TEETH**

Ignacio Aliaga Vera

DIRECTORS:

Prof. Dr. Vicente Vera González
Prof. Dr. Alvaro Enrique García Barbero
Prof. Dr. Juan Francisco de Paz Santana

SUPERVISED BY:

Prof. Cesar Anelide Rodrigues (PhD)

Madrid 2014

APPROACH TO THE PROBLEM AND JUSTIFICATION



7 APPROACH TO THE PROBLEM AND JUSTIFICATION

The failure of dental restorations is an important problem to be solved in private practice and in university teaching. Both, professionals and students of Dentistry must be conscious of the duration of the treatments, and the causes for the failure of composite resin restorations in the posterior teeth.

The failure occurs when a restoration reaches a level of degradation that threatens a proper functioning, whether for aesthetic or functional reasons, or due to its incapacity in preventing a new illness from occurring [31, 32]. Failure in the posterior teeth is manifested in secondary caries, fracture of the restoration material and dental hypersensitivity [68, 69].

Previous research has demonstrated that the treatment of failed restorations makes up 50 to 78% of the activity in private practice. This fact suggests an important failure in deontological restoration. In addition, another problem is that the re-treatment of the restoration will undoubtedly cause an increase in the size of the cavity [38], weakening the dental structure and spreading the damage. This could jeopardise the pulp tissue of the tooth, hence requiring a root canal treatment [67-69].

The longevity of composite resin restorations in the posterior teeth is influenced by various factors, such as the placement technique under the control of the dentist, which is fundamental for the general adaptation, retention and sealing of the material within the preparation. The composition of the material is another factor, as this allows them to have determined physical and mechanical properties, such as, resistance to wear and the degree of the reaction to polymerization [15, 32, 67, 68, 69].

Given these facts it seems interesting to study and analyse the restorations of composite in the posterior teeth placed by dental students in the course of Dental Pathology and Therapy II (PTD II), in university dental practice,

by means of the application of the artificial intelligence tool, Case-Based Reasoning System (CBR), and inferential statistics. This will permit us predict what variables influenced in the failure of the restoration, with the end result of correcting the defects of the cognitive knowledge and skills causing the failure of the restorations in the posterior teeth.

MATERIALS AND METHODS



8 MATERIALS AND METHODS

With the intention of working on his European Doctorate, the author of this paper spent three months at Minho University Engineering School, in the department of Computer Science in Braga, Portugal. The study was conducted under the direction of Dr. Cesar Anelide Rodrigues from June 24, 2013 to October 11, 2013. The main concentration was in the area of the study of artificial intelligence.

The Ethics Committee of clinical research in the San Carlos Clinical Hospital in Madrid evaluated in a meeting (act) 6/2/14 the study entitled: The use of Case-Based Reasoning System and inferencial statistical analysis in the prediction of resin restorations failure in the posterior teeth; and gave its approval for the research to begin.

8.1 Materials

The following materials and resources were necessary to carry out the study:

8.1.1 Literature review

A bibliographic search was carried out using the databases PubMed, cochrane and compludoc.

8.1.2 Human resources

- An evaluator/professor.
- Students from 4th year of Dentistry. Course 2011-12, 2012-13 and 2013-14, Course of Dental Pathology and Therapy II
- Sample of treated Patients
- Computer engineers from the department of Computer Science of the University of Salamanca, Castilla y León. Spain
- Research support unit, Preventive Medicine service. San Carlos Clinical Hospital, Madrid. Spain
- Computer engineers from the Escola de Engenharia. Universidade do Minho, Braga. Portugal.

8.1.3 Clinical materials

- Dental equipment.
- Dental exploration material.
- Latex and/or Vinyl Gloves.
- Masks.
- Vacuums and air needles for the dental chair.
- X-Ray materials:
 - X-Ray films.
 - X-Ray position rings.

8.1.4 Informatics materials

- Questionnaires 1, 2 and 3, relevant to the study (Annexes I, II, III).
- Personal computer for the collection of data on an Excel spreadsheet.

The inferential statistical studies were carried out by the research support unit, Preventive Medicine service of the San Carlos Clinical Hospital in Madrid, by Dr. Cristina Fernández.

8.1.5 Sample of the study

The study was conducted on 81 patients coming from the central reception service of the Complutense University of Madrid who were treated by the students of the 4th year of PTD II of the School of Dentistry, Complutense University of Madrid from November 2011 to May 2014.

The sample had to complete the following criteria:

8.1.5.1 Inclusion criteria

- Patients treated by the students of the course, Pathological and Therapeutic Dentistry II, during the dates of the study.
- Patients with lesions 1 and 2, Mount-Hume classification and restoration with composite resin.
- Adult patients, completely capable of making their own decisions.
- Commitment to attend the revision.

8.1.5.2 *Exclusion criteria*

- Patients whose clinical histories satisfied the inclusion criteria but who were not available for all of the prerequisites that were being asked.
- Patients who turned down the offer to collaborate in the study.

8.2 Dentistry methodology

The study was done in the dental clinic of the course PTD II, from October 2011 to May 2014.

To begin, a treatment plan was drawn up and approved by the professor in charge. The student then explained to the patient the necessity of treating the cavities to restore the tooth.

The evaluator/researcher explained to the patient that the data obtained in this revision would form part of a research study for the completion of this doctoral thesis, and summarized the objectives of this work. Once the patient agreed with the project, he/she signed the informed consent form; next, a clinical history of the patient was filled out, the researcher gathering the person's clinical data, X-Rays and all the other requisites needed to analyse the information once the student had finished the treatment, annex I and II.

The professor/evaluator was the one who supervised the treatment, evaluating each of the four phases of the treatment: anaesthesia stage, isolation, preparation of the cavity and obturation, obtaining a global treatment plan.

Later on, the professor/evaluator and the student reviewed the restoration after 12 months of the treatment, filling out annex III and in case of failure, student retreated the failed restoration, under the supervision of the faculty.

8.2.1 Clinical Exploration

The student performed the inspection of the treated tooth to establish the diagnosis of the cavity, lesion types 1 and 2 Mount-Hume classification, who was then supervised by the professor of the practices.

8.2.2 X-ray exploration

To confirm the clinical exploration, the student proceeded performed the X-ray bitewing using the technique of parallelization that helped to establish the treatment plan.

Once the X-rays were developed and analysed, the professor reviewed them, and the student designed a treatment plan for the patient supervised and approved by the faculty.

8.2.3 Treatment performed by the undergraduate dental student

The clinical protocol of the student was to perform each of the phases (anaesthesia, isolation, cavity preparation, and obturation); the faculty evaluated every phase of the treatment and the student answered annexes I and II.

8.2.3.1 Anaesthesia phase

Local anaesthesia was used, after reviewing the patient's clinical records and the side effects of the drug.

8.2.3.2 Isolation phase

The placement of the rubber dam was obligatory. It prevents contamination and protects the tissues, this allowing for an adequate operating field [40].

8.2.3.3 Cavity preparation phase

Keeping in mind one of the most important principals of conservative dentistry, which is to completely avoid the removal of healthy dental tissue, the diseased tissue was removed.

The cavities are usually classified according to size, Mount-Hume classification; however, based on the latest findings of the caries process and the materials and techniques used in current restorations, a new classification was made which makes reference to the location of the lesion of the diseased tissue [40-42].

In this study, once the diseased tissue was removed, the cavities were classified according to size.

Small cavities only affect the enamel, and the treatment is very conservative; the diseased tissue is eliminated without a mouthpiece in the occlusal side, as the prisms of the enamel are cut perpendicularly, and increase the retention of the acid etch [15].

Medium-size cavities affect the enamel and the dentin by 25% [31].

Big cavities affect the enamel and dentin by 50%; in this case the affected tissue, weakened primarily by the structure of the tooth, is completely eliminated [32].

8.2.3.4 Obturation phase

The objective here was the framework of the cavity so as to obtain an adequate marginal adjustment and point of contact. Depending on each clinical case, the use of a transparent matrix, metal section or metal matrix material was indicated.

Adhesion.

This phase was conducted in accordance with the size of the cavity.

Obturation and polymerization of the cavity.

The obturation of the cavity was carried out following the method of incremental layers of composite.

The resin had to be inserted in laminated, consecutive increases to assure the adequate polymerisation and to prevent contraction; in this way, the marginal adaptation improved, reducing marginal filtration and diminishing tooth deformation, making the teeth more resistant to fractures.

Polymerization was carried out in each increase and appropriate time for the type of lamp used.

Finishing and polishing

The student completed the restoration using diamond burs or wolfram carbide burs, depending on the surface of the tooth.

Occlusion Check-up

Adjustment of the occlusion done using articulating paper.

8.2.4 Annual revision

Appointments for a clinical evaluation a year later were booked for the patients; an inspection and intra-oral X-Ray of the tooth belonging to our study was carried out (Anex III).

8.3 Case-based Reasoning System (CBR) methodology

A CBR is an incremental learning system in that each time that a problem is solved, it's possible to create a new case and store it in the CBR memory base for future use.

Human intervention is necessary in many situations during the life cycle of CBR, especially in the last two phases. Specialized professionals normally do revision and retention phases of cases; this presents a great disadvantage to this method and is often used by its opponents to discredit this system.

Below, each one of the phases that make up the life cycle of the system will be described:

8.3.1 Recuperation

The objective of this phase is to extract the cases related to the problem needing to be solved and store them in the memory of the CBR. This phase can be divided into three parts, generally carried out in the following order (77-79):

1. Data identification: The characteristics that define the problem are identified.
2. Initial Comparison: Those cases significantly similar to the present problem are selected through the use of a set of pre-established rules.
3. Search and Selection: during this phase, the case (or a reduced group of cases) most similar to the problem at hand is determined, whereby a final solution begins to be defined. This case is removed from the preliminary selection made in the preceding phase.

Although a CBR is a well-defined system, the nature of the problem being analysed determines the final structure of each CBR. For example, before implementing the algorithms of the recuperation of cases, it's necessary to determine if the selection techniques of the cases utilized should be based on a syntactic or semantic comparison of the characteristics that define said cases.

Another important matter to consider before implementing a strategy of recuperation of cases is deciding if the cases have to be adapted. This is fundamental for pin pointing an adequate strategy of approximation, and for knowing the adequate number of cases that should be recovered [83, 84].

8.3.2 Reuse

In the reutilization phase the differences between the case/s selected in the previous phase and the present problem are studied. Through this selection

the characteristics of the recuperated cases that can be relevant to the present problem are studied.

In simple problems of classification, the difference between the characteristics of the cases are hidden, and only the similarities are taken into consideration; in these situations it is the present problem that adopts the solution of the recuperated case.

8.3.3 Revision

In this phase the proposed solution for the anterior stage is thoroughly examined. If the proposed solution is accepted it can be used during the training, as demonstrated in the next section. But if the solution isn't satisfactory, it can be modified using specific information of the problem in question.

8.3.4 Retention

In this stage, the aspects that can be learned or memorized can be identified and included in the memory of a CBR. The algorithms of learning have to keep in mind the results of the anterior phase. The most important tasks to perform during this stage are (88-94):

1. Selection of the information contained in the cases that should be memorized.
2. Definition of how the information should be stored.
3. Setting up of indexation mechanisms of new problems, which can be then reused in the future.
4. Definition of a form of integrating a new case in the memory structure.

To memorize a case it's important to determine how and when to index. In this operation, the structure of indexation is crucial.

8.4 Inferential statistical analysis methodology

The qualitative variables are presented with their frequency of occurrence, Quantitative variables are summarised as their average and standard deviation (DE) or mean and interquartile range in the case of asymmetry.

The association between qualitative variables was evaluated using the Chi-squared test or Fisher's exact test, in the case of more than 25% was below 5. For the univariate analysis, the magnitudes associated with the odds ratio (OR) were estimated together with their confidence interval of 95% (IC95%).

The scores obtained by students were contrasted with the median test and their predictive capacity was evaluated on the global diagnostic performance curve (COR) and by the phases of the procedure. These were evaluated with the areas under the curve and its IC95%.

A logistical regression model was created to evaluate the factors associated with the probability of failure of composite resin restorations. The variables were selected which appeared to be significant or biologically relevant. The adjusted parameters of the logistical model hierarchy were estimated with the maximum likelihood method. The existence of interactions was analysed. The adjusted "odds ratio" was presented in conjunction with the confidence intervals of 95%. The diagnostic performance curve (COR) was obtained and statistically evaluated with the area below the curve and its IC95%.

In all cases the distribution of variables was matched against the theoretical models and contrasted with the hypothesis of homogeneous variances.

The hypothesis or the null hypothesis was rejected with a type I error or error α less than 0.05.

SPSS for Windows, version 15.0, was used to analyse the data.

RESULTS



9 RESULTS

9.1 Results of the application of the CBR

There were 81 students evaluated in the 4th year of Dentistry, with an average age of 22.1 years. Forty students (49.4%) were from the year 2011-2012 and 41 (50.6%) in year 2012-2013.

The selected cases had all the information necessary to complete the established variables. In this way, the largest numbers of variables were included able to influence the success or failure of the restoration treatment performed by the Dentistry students and retreatment.

Based on the data described a study of the causes of success or failure were analysed, creating a prediction system on the treatments carried out on the patients.

The causes were analysed through statistical testing, facilitating the study of automated predictions created by an expert using the CBR system.

The data was analysed and a prediction system was established in a progressive manner. The first stage was a pre-processing of data consisting in the analysis of available data in order to recodify the variables and this permit an optimum final result. Subsequently, a comparison was made of the performance of the CBR based prediction system, modifying the techniques applied during the adaptation phase. Finally, the different classification techniques were analysed to differentiate the relevance of the false positives and false negatives.

After a visual inspection of the data, an analysis was made of the dependence of the variable in success or failure with the rest of the variables. In the case of negative results, this means that it may not be possible to create a

prediction system if the dependence of the variable in the study cannot be determined.

9.1.1 Analysis of variable dependency

To carry out this analysis, a statistical study was made of dependence through a Chi Squared test.

It should be noted that in order for the expected frequencies to be under 5, the results may not be correct and thus a Yates correction is applied to mitigate this aspect.

Additionally, the statistical results of the Chi Squared were provided, applying the Monte Carlo simulation to verify the results. Finally, Fisher's exact test was also applied, a recommended method when the same size is small.

For both tests the null hypothesis is H_0 : the variables are independent. In the table, the values appear in red which are inferior to 0.1. As can be seen, the results are very similar for the different tests applied (Table 1). The variables associated with the values are those which permit their correct classification. It is important to determine what combination of variables can predict the final result.

Table 1. Analysis of variable dependency.

Variable	P value		
	Ji Squared		Fisher's Exact Test
	Yates	Monte Carlo	
Dentist family members	0,65635305	0,46926537	0,47119274
Prior experience	1	1	0,72351455
Group	0,31537471	0,21189405	0,33900207
Sex Patient	0,33313578	0,24687656	0,26854765
Dental piece	0,45040599	0,46376812	0,45577211
Brushing habits	0,00043681	0,0009995	0,00049975
Age Patient	0,00042462	0,0008765	0,00046532
Type of Anaesthetic	0,62547314	0,64117941	0,64067966
Technique employed	0,97529309	0,7886057	0,78534379
Attempts employed	0,57745191	0,62518741	0,53123438
Assistance by professor 1	0,57187231	0,43428286	0,43446523
Number of carpules	0,87365348	0,76861569	0,77883103
Degree of anaesthetic	0,67068357	0,67966017	0,40831845
Incidents	0,12288437	0,07496252	0,0684388
Type of isolation	1	1	0,64827633
Isolated pieces	0,1228843	0,11744128	0,11144428
Assistance by professor 2	0,51848205	0,4137931	0,4175487
Contamination with saliva	0,0041469	0,00449775	0,00341856
Contamination with blood	0,29921464	0,22288856	0,21739453
Change of dam	0,00051001	0,0009995	0,00071994
Time employed 2 (min)	0,63496721	0,66966517	0,66866567
Depth of lesion	0,15726009	0,14492754	0,16241879
Use of Turbine 1	1	1	1
Use of Counter-angle 1	0,92228973	0,78710645	0,7721448
Use of spoon	1	1	1
Use of caries detector	0,00747317	0,00349825	0,00514516
Assistance of professor 3	0,07005183	0,05697151	0,05995143
Number of affected sides	0,07440255	0,05947026	0,06746627
Total elimination of caries	0,06907714	0,03798101	0,04722222
Elimination of enamel	0,07902986	0,07846077	0,10044978
Use of cavity base	0,20717312	0,16741629	0,17013231
Time employed 3 (min)	0,2991014	0,29735132	0,30384808

Use of matrix	1	1	1
Use of wedge	1	1	1
Evaluation of brace	0,12288437	0,05997001	0,0684388
Number of layers	0,03304064	0,02498751	0,02139448
Obturation	0,58477137	0,57071464	0,40282849
Anatomical shaping	0,80348815	0,68615692	0,67679447
Use of Turbine 2	0,95785737	0,68515742	1
Use of Counter-angle 2	1	1	1
Polishing of restoration	0,12297669	0,07746127	0,07005793
Use of polishing disks	0,12288437	0,07796102	0,0684388
Use of polishing drill	0,82145183	0,66316842	0,68454254
Adjustment of occlusion	0,00365306	0,00449775	0,00599713
Assistance of professor 4	0,07005183	0,06646677	0,05995143
Incidents	1	1	1
Motivation of patient for hygiene	0,168350101	0,25496354	0,23247676
Time employed 4 (min)	0,17358146	0,15842079	0,23088456
note1	0,0002088	0,00049975	0,00049975
note2	0,01048898	0,00849575	0,0129935
note3	3,58E-05	0,00049975	0,00049975
note4	8,52E-06	0,00049975	0,00049975

The independent variables associated with the prediction of failure were the variables associated with the patient: brushing habits and age. The variables referring to the treatment were: saliva contamination, the use of a caries detector, the number of layers and the adjustment of occlusion.

9.1.2 CBR prediction model

Once a study has been made of the relevance of the selected variables, an analysis was made of the functionality of the CBR system. During the

recovery phase, cases were selected which were of interest to the problem being studied and it was on these cases the treatment was applied.

Subsequently, a study was made of the prediction capacities of the different techniques integrated into the CBR system. A test was performed applying the techniques MultilayerPerceptron, MultiClassClassifier, BayesNet, NaiveBayes, AdaBoostM1, Bagging, DecisionStump, J48, IBk, JRip, LMT, Logistic, LogitBoost, OneR, SMO during the reutilisation phase.

The table 2 indicated the accuracy of each of the methods, applying the “leave one out” technique on the CBR system. The rate of accuracy of the system was 89%, the Kappa index was 0.714, indicating that the degree of accuracy is high and is the relevant index as it takes into account the number of elements in the categories of the variables to be classified.

Table 2. Accuracy percentage and Kappa Index for different classifiers analysed by CBR.

Classifier	Accuracy	Percentage	Kappa
MultilayerPerceptron	65	79.268293	0.4705882
MultiClassClassifier	70	85.365854	0.6425993
BayesNet	67	81.707317	0.5367647
NaiveBayes	73	89.02439	0.7142857
AdaBoostM1	66	80.487805	0.4747082
Bagging	64	78.04878	0.4476534
DecisionStump	45	54.878049	0.1518325
J48	61	74.390244	0.3382353
IBk	69	84.146341	0.6029412
JRip	55	67.073171	0.1397059
LMT	69	84.146341	0.630137
Logistic	70	85.365854	0.6425993
LogitBoost	65	79.268293	0.4705882
OneR	68	82.926829	0.4608295
SMO	64	78.04878	0.4046693

Based on these results a representation was made using ROC curves. ROC curves facilitate the analysis of different classifiers according to the area they represent under the curve. The greater the area the better is the classifier. The principal advantage is that it allows the differentiation between the false negatives and the false positives. In this case, success in the treatment is considered as positive.

The following figure 8 showed the ROC curve and the area under the ROC curve in table 3, for each of the methods with the final results obtained by NaiveBayes. The other classifiers, such as MultiClassClassifier, LMT and Logistic with worse percentage of accuracy have a similar area given that, although there are more errors, there are fewer false negatives. LMT obtained the best results in avoiding false negatives.

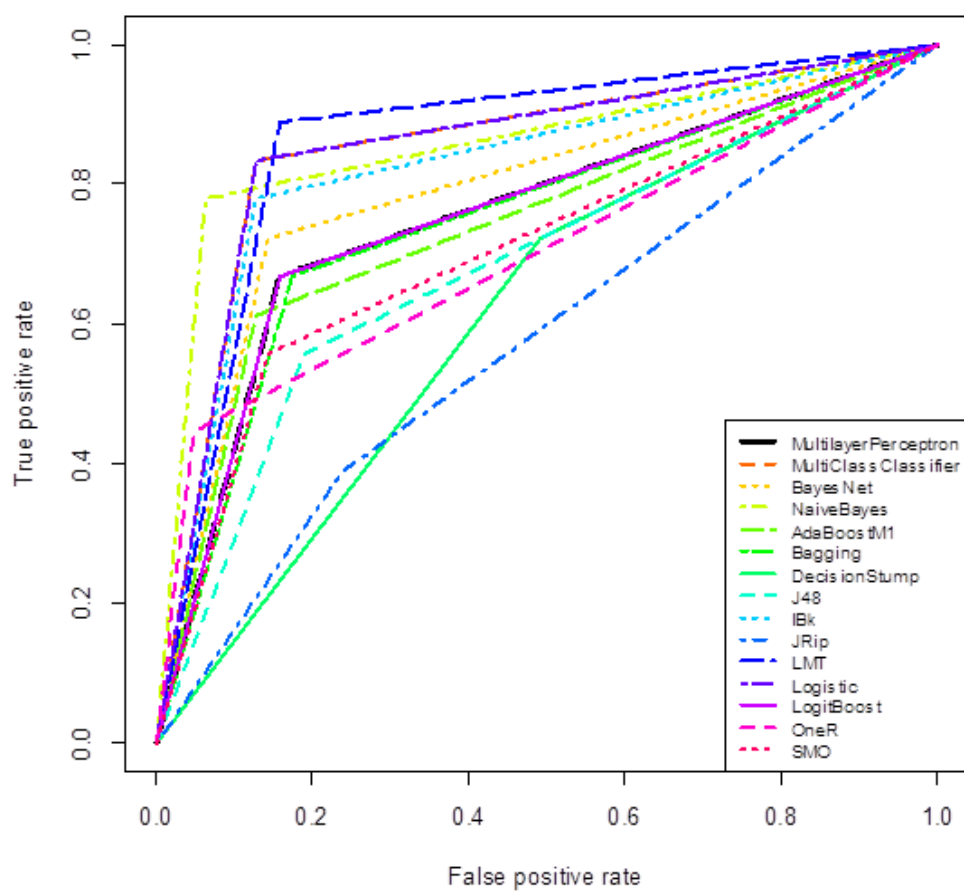


Figure 1. ROC curves based on the prediction.

Table 3. Area under the ROC curve based on the prediction.

Classifier	ROC curve area
MultilayerPerceptron	0.7539683
MultiClassClassifier	0.8531746
BayesNet	0.7896825
NaiveBayes	0.8571429
AdaBoostM1	0.7420635
Bagging	0.7460317
DecisionStump	0.6150794
J48	0.6825397
IBk	0.8253968
JRip	0.5753968
LMT	0.8650794
Logistic	0.8531746
LogitBoost	0.7539683
OneR	0.6984127
SMO	0.7063492

Taking into account the values of probabilities indicated in Table 4 the same results are obtained as previously and the classifier LMT shows the most area under the curve. Thus, this is the most recommended method in preventing false negatives. It should be noted that the ROC curves in this case

represent probability. Figure 9 showed this specific line is over 0.5; the predicted outcome for the corresponding method is failure.

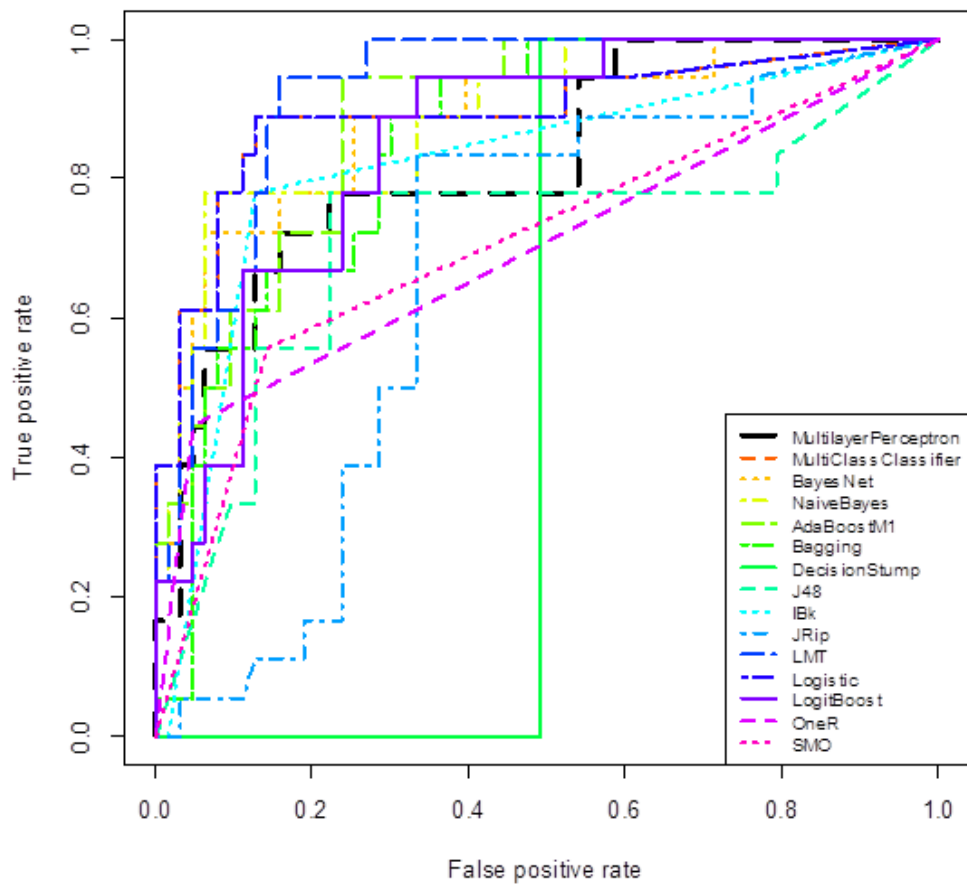


Figure 2. ROC curves based on probabilities.

Table 4. Area under the ROC curve based on probabilities.

Classifier	ROC curve area
MultilayerPerceptron	0.8253968
MultiClassClassifier	0.8928571
BayesNet	0.8818342
NaiveBayes	0.8871252
AdaBoostM1	0.8844797
Bagging	0.8483245
DecisionStump	0.5079365
J48	0.712963
IBk	0.819224
JRip	0.6640212
LMT	0.9232804
Logistic	0.8928571
LogitBoost	0.85097
OneR	0.6984127
SMO	0.7063492

For a detailed analysis of the results, the following table 5 indicated the results obtained for each of the procedures, applying the CBR systems with different techniques during the reutilisation phase. The figures shown indicate the probability of failure, the complementary value represents the probability of success. To interpret the table one must consider the values under 0.75 as

failures in order to avoid false negatives. The table the cases selected for study with its final conclusions have been organised in rows while the columns indicate the different predictive values of some of the systems used in the reutilisation phase.

The values closest to 1 predict failure; the values closest to 0 predict success. In subsequent uses, data from the new cases will be incorporated, and by applying the entire CBR system a solution for situations of these characteristics will be offered.

The classifier integrated in the CBR system varies according to the object of the same, in the case the aim is to maximise the rate of accuracy or the Kappa Index, the classifier with the best results within the CBR system is NaiveBayes.

Table 5. Probability of failure for different classifiers integrated in the CBR.

MultilayerPerceptron	MultiClassClassifier	BayesNet	NaiveBayes	AdaBoostM1	Bagging	DecisionStump	J48	IBk	JRip	LMT	Logistic	LogitBoost	OneR	SMO	fracaso
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	1.00	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	1.00	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.84	1.00	0.98	0.99	1.00	0.98	1.00	0.98	1.00	1.00	No
0.00	0.00	0.03	0.02	0.81	0.81	0.93	1.00	0.01	0.93	0.27	0.00	0.81	0.00	0.00	Si
1.00	1.00	0.97	0.12	0.14	0.68	0.38	1.00	0.99	0.00	0.71	1.00	0.39	1.00	1.00	No
1.00	1.00	0.99	1.00	0.97	0.89	0.38	1.00	0.99	1.00	0.90	1.00	0.91	1.00	1.00	No
1.00	1.00	0.09	0.14	0.03	0.39	0.64	0.14	0.99	0.93	0.29	1.00	0.06	0.00	1.00	Si
0.05	0.00	0.80	0.47	0.99	0.89	0.93	1.00	0.01	1.00	0.64	0.00	0.98	1.00	0.00	Si
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.62	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	No
0.99	1.00	1.00	1.00	0.97	0.95	1.00	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	0.33	0.99	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	0.83	1.00	0.98	0.99	1.00	0.90	0.48	0.78	1.00	1.00	No
0.95	0.48	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.62	0.98	0.99	1.00	0.99	1.00	0.97	1.00	1.00	No
0.96	1.00	1.00	1.00	0.99	0.94	0.62	0.98	0.99	1.00	0.97	1.00	0.99	1.00	1.00	No
1.00	1.00	0.45	0.75	0.93	0.70	0.93	0.00	0.99	0.93	0.75	1.00	0.91	1.00	1.00	Si
1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.79	0.62	0.98	0.99	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	No
1.00	0.72	1.00	1.00	0.99	0.89	1.00	0.98	0.99	0.98	1.00	0.72	1.00	1.00	1.00	No
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.64	0.14	0.01	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Si
1.00	0.97	1.00	1.00	0.98	0.92	1.00	0.98	0.99	1.00	1.00	0.97	0.96	1.00	1.00	No
0.03	1.00	0.47	0.94	0.94	0.64	0.62	0.98	0.99	0.15	0.52	1.00	0.80	1.00	0.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.92	1.00	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	1.00	0.98	1.00	0.86	0.74	0.38	1.00	0.99	0.97	1.00	1.00	0.95	1.00	1.00	No
0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.62	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	0.35	0.62	0.98	0.99	0.11	0.10	1.00	0.11	0.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	0.96	0.60	0.76	0.62	0.98	0.99	0.98	0.89	1.00	0.67	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.84	0.62	0.98	0.99	0.98	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	No
0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.93	1.00	0.98	0.99	0.98	0.88	1.00	0.99	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.76	1.00	0.98	0.99	0.13	0.97	1.00	0.92	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	0.93	0.94	1.00	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.93	1.00	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.86	1.00	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	No
0.20	0.98	0.99	1.00	0.96	0.95	0.38	1.00	0.99	0.00	0.94	0.98	0.84	1.00	0.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.93	1.00	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	No

Table 5. Probability of failure for different classifiers integrated in the CBR (continuation).

MultilayerPerceptron	MultiClassClassifier	BayesNet	NaiveBayes	AdaBoostM1	Bagging	DecisionStump	J48	IBk	JRip	LMT	Logistic	LogitBoost	OneR	SMO	fracaso
1,00	1,00	0,99	1,00	0,99	0,95	0,62	0,98	0,99	0,98	0,98	1,00	0,90	1,00	1,00	No
0,75	0,00	0,45	0,22	0,92	0,45	0,64	1,00	0,01	0,43	0,72	0,00	0,90	0,00	1,00	Si
0,01	0,01	0,04	0,01	0,78	0,56	0,64	0,00	0,01	0,90	0,26	0,01	0,05	1,00	0,00	Si
0,13	0,00	0,22	0,98	0,50	0,28	0,38	0,00	0,99	0,15	0,47	0,00	0,34	0,00	0,00	No
1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	0,93	1,00	0,98	0,99	0,89	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	No
1,00	1,00	0,46	0,94	1,00	0,87	0,62	1,00	0,99	0,89	0,95	1,00	0,97	1,00	1,00	No
0,98	1,00	0,84	0,90	1,00	0,94	1,00	0,75	0,01	0,89	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	No
0,03	0,88	0,44	0,01	0,68	0,82	0,64	0,93	0,99	0,43	0,56	0,88	0,93	1,00	0,00	Si
0,41	0,00	0,02	0,00	0,86	0,53	0,38	0,75	0,99	0,21	0,64	0,00	0,77	1,00	0,00	No
1,00	1,00	0,78	0,87	0,94	0,82	0,62	0,00	0,99	0,22	1,00	1,00	0,94	1,00	1,00	No
1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	0,78	0,62	1,00	0,99	0,31	1,00	1,00	0,98	1,00	1,00	No
1,00	0,06	0,99	1,00	0,90	0,82	0,93	0,96	0,01	0,92	0,47	0,06	0,63	1,00	1,00	Si
0,90	1,00	0,96	0,85	0,78	0,92	0,62	0,98	0,01	0,97	0,98	1,00	0,32	1,00	1,00	No
0,91	1,00	0,52	0,98	1,00	0,92	1,00	0,33	0,99	0,97	0,97	1,00	0,98	1,00	1,00	No
0,03	0,00	0,86	0,94	1,00	0,83	1,00	0,00	0,01	0,97	0,84	0,00	0,81	1,00	0,00	No
1,00	0,99	1,00	1,00	0,71	0,75	1,00	0,20	0,01	0,95	0,87	0,99	0,92	1,00	1,00	No
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,92	1,00	1,00	0,01	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	No
0,65	1,00	0,96	1,00	0,99	0,82	0,62	0,20	0,01	0,91	1,00	1,00	0,97	1,00	1,00	No
0,00	0,95	0,48	0,92	0,77	0,71	0,62	1,00	0,99	0,17	0,38	0,95	0,73	1,00	0,00	No
1,00	1,00	0,58	1,00	0,82	0,83	0,62	1,00	0,01	0,97	1,00	1,00	0,73	1,00	1,00	No
0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	1,00	1,00	0,01	0,97	1,00	1,00	0,97	1,00	1,00	No
0,02	0,00	0,98	1,00	0,35	0,84	0,64	0,00	0,01	0,98	0,72	0,00	0,44	1,00	1,00	Si
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	1,00	0,98	0,99	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	No
1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	0,79	0,62	0,98	0,99	0,97	0,98	1,00	0,99	1,00	1,00	No
0,02	0,66	0,00	0,00	0,06	0,42	0,64	0,14	0,01	0,10	0,11	0,66	0,06	0,00	0,00	Si
1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	0,87	0,62	1,00	0,99	0,97	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	No
0,33	0,10	0,00	0,00	0,49	0,35	0,64	0,00	0,01	0,98	0,14	0,10	0,47	0,00	0,00	Si
1,00	1,00	0,82	0,96	0,86	0,68	0,38	0,00	0,99	0,38	0,98	1,00	0,77	1,00	1,00	No

Table 5. Probability of failure for different classifiers integrated in the CBR (continuation)

MultilayerPerceptron	MultiClassClassifier	BayesNet	NaiveBayes	AdaBoostM1	Bagging	DecisionStump	J48	IBk	JRip	LMT	Logistic	LogitBoost	OneR	SMO	fracaso
0.09	0.31	0.98	0.99	1.00	0.94	1.00	0.98	0.99	0.91	0.18	0.31	0.98	1.00	0.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	1.00	0.98	0.99	0.91	0.98	1.00	0.84	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	0.00	0.98	1.00	0.35	0.62	0.64	0.00	0.01	0.43	0.69	0.00	0.44	1.00	1.00	Si
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	1.00	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	No
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.82	0.62	0.98	0.99	0.97	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	No
0.02	0.00	0.00	0.00	0.06	0.41	0.64	0.14	0.01	0.91	0.01	0.00	0.20	0.00	0.00	Si
1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	0.85	0.62	1.00	0.99	0.97	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	No
0.04	0.00	0.00	0.00	0.08	0.36	0.64	0.00	0.01	0.17	0.06	0.00	0.19	0.00	0.00	Si
0.23	0.00	0.44	0.00	0.68	0.74	0.64	0.93	0.01	0.43	0.01	0.00	0.62	1.00	1.00	Si
0.16	0.00	0.01	0.00	0.12	0.32	0.38	0.00	0.99	0.38	0.06	0.00	0.19	1.00	0.00	No
0.00	0.00	1.00	0.88	0.71	0.84	1.00	0.00	0.99	0.20	0.32	0.00	0.14	1.00	0.00	No
0.98	1.00	0.44	0.02	0.44	0.57	0.38	0.11	0.99	0.38	0.74	1.00	0.10	0.00	1.00	No
0.96	0.00	1.00	1.00	0.90	0.82	0.93	0.96	0.01	0.93	0.95	0.00	0.83	1.00	1.00	Si
0.00	0.00	0.04	0.06	0.07	0.54	0.64	0.98	0.99	0.93	0.09	0.00	0.29	1.00	0.00	Si

In order to enhance the predictive capacity of the CBR system, the recuperations stage is modified. During the recuperation stage, statistical tests were applied: the Chi-squared test, Yates correction, the Monte Carlos method and Fisher's exact test. These tests were applied to the 52 variables for restoration failure in all cases, eliminating those for which all the tests rejected the H0. In the introduction to the final case, the variables considered most relevant were: age of the patient, brushing habits, saliva contamination, incidence, change of dam, use of a caries detector, number of layers, adjusting of occlusion, note1, note2, note3, note4.

To analyse the efficiency of the results the area under the ROC curve is analysed using the different classifications with all variables and those considered dependent variables. A 5x2 cross-validation was made, obtaining the results presented in Table 6 for the variables without filter and Table 7 in the case of only using the variables considered dependent. Both Table 6 and Table 7 show the area under the ROC curve for different classifiers.

Table 6. 5x2 Cross-validation area under ROC curve with filter.

											Average
MultilayerPerceptron	0,872	0,853	0,810	0,771	0,781	0,846	0,860	0,823	0,733	0,745	0,809
MultiClassClassifier	0,873	0,860	0,714	0,723	0,590	0,781	0,739	0,783	0,624	0,814	0,750
BayesNet	0,899	0,882	0,852	0,756	0,830	0,749	0,841	0,857	0,819	0,833	0,832
NaiveBayes	0,927	0,921	0,881	0,753	0,955	0,821	0,860	0,913	0,920	0,843	0,879
AdaBoostM1	0,892	0,799	0,805	0,713	0,797	0,670	0,803	0,882	0,797	0,824	0,798
Bagging	0,809	0,839	0,795	0,631	0,898	0,812	0,636	0,903	0,838	0,745	0,791
DecisionStump	0,734	0,634	0,786	0,696	0,780	0,591	0,706	0,617	0,740	0,706	0,699
J48	0,653	0,634	0,693	0,685	0,729	0,658	0,748	0,617	0,655	0,706	0,678
IBk	0,628	0,625	0,693	0,530	0,668	0,642	0,830	0,683	0,740	0,804	0,684
JRip	0,786	0,808	0,621	0,720	0,780	0,548	0,706	0,500	0,649	0,760	0,688
LMT	0,500	0,932	0,967	0,632	0,851	0,824	0,936	0,648	0,885	0,809	0,798
Logistic	0,873	0,860	0,714	0,723	0,590	0,781	0,739	0,783	0,624	0,814	0,750
LogitBoost	0,965	0,878	0,824	0,804	0,835	0,814	0,879	0,850	0,859	0,787	0,849
OneR	0,651	0,792	0,664	0,530	0,780	0,548	0,706	0,617	0,649	0,578	0,652
SMO	0,842	0,720	0,679	0,744	0,715	0,769	0,799	0,767	0,573	0,745	0,735

Table 7. 5x2 Cross-validation area under de ROC curve without filter.

											Average
MultilayerPerceptron	0,931	0,932	0,943	0,798	0,927	0,720	0,894	0,937	0,917	0,951	0,895
MultiClassClassifier	0,882	0,957	0,967	0,726	0,878	0,728	0,750	0,963	0,862	0,907	0,862
BayesNet	0,792	0,717	0,812	0,729	0,887	0,593	0,835	0,783	0,691	0,811	0,765
NaiveBayes	0,903	0,935	0,981	0,795	0,913	0,810	0,883	0,930	0,948	0,882	0,898
AdaBoostM1	0,870	0,882	0,945	0,878	0,910	0,695	0,894	0,913	0,930	0,831	0,875
Bagging	0,951	0,842	0,943	0,735	0,911	0,708	0,801	0,880	0,740	0,797	0,831
DecisionStump	0,734	0,634	0,786	0,696	0,780	0,591	0,706	0,617	0,740	0,706	0,699
J48	0,675	0,634	0,788	0,647	0,700	0,593	0,706	0,617	0,751	0,721	0,683
IBk	0,753	0,728	0,624	0,658	0,727	0,588	0,758	0,683	0,710	0,625	0,685
JRip	0,747	0,618	0,643	0,720	0,780	0,611	0,706	0,633	0,740	0,848	0,705
LMT	0,962	0,966	0,979	0,884	0,931	0,814	0,943	0,963	0,937	0,973	0,935
Logistic	0,882	0,957	0,967	0,726	0,878	0,728	0,750	0,963	0,862	0,907	0,862
LogitBoost	0,924	0,876	0,938	0,830	0,882	0,783	0,898	0,927	0,935	0,855	0,885
OneR	0,651	0,792	0,664	0,673	0,780	0,651	0,706	0,617	0,649	0,578	0,676
SMO	0,722	0,817	0,750	0,673	0,731	0,667	0,705	0,650	0,667	0,735	0,712

Once the value of the AUC, before and after filtering has been calculated, an analysis is made of the statistical significance of the differences. A Mann-Whitney test and a t-test for paired samples were conducted. Columns 3 and 4 of Table 8 show in red the classifiers that provide the results significantly better when the filter is applied, while the last two columns show the classifiers that provide significantly worse results when the filter is applied. As seen in the table, there are 6 classifiers that provide better results with filter and subsequently on 1, which worsens the results. In any case, the LMT classifier provides the best results with the filter. In the first 3 columns, show the homogeneity of variance test and the normality test for the data without filter, and the normality test for the data with filter.

Table 8. Analysis of the statistical significance of the differences.

	Levenne	Shapiro without filter	Shapiro Filtered	Mann Whitney (less)	t-test (less)	Mann Whitney (greater)	t-test (greater)
MultilayerPerceptro n	0,923	0,001	0,453	0,014	0,010	0,990	0,990
MultiClassClassifier	0,970	0,076	0,664	0,007	0,009	0,995	0,991
BayesNet	0,198	0,725	0,347	0,993	0,992	0,010	0,008
NaiveBayes	0,808	0,472	0,388	0,101	0,085	0,916	0,915
AdaBoostM1	0,975	0,012	0,195	0,003	0,002	0,998	0,998
Bagging	0,766	0,465	0,152	0,097	0,114	0,920	0,886
DecisionStump	1,000	0,500	0,500	1,000	1,000	1,000	1,000
J48	0,225	0,964	0,869	0,528	0,377	0,528	0,623
IBk	0,446	0,438	0,803	0,453	0,488	0,594	0,512
JRip	0,411	0,492	0,363	0,223	0,287	0,824	0,713
LMT	0,032	0,011	0,191	0,003	0,012	0,998	0,988
Logistic	0,970	0,076	0,664	0,007	0,009	0,995	0,991
LogitBoost	0,858	0,306	0,288	0,042	0,027	0,968	0,973
OneR	0,394	0,291	0,630	0,186	0,087	0,963	0,913
SMO	0,621	0,380	0,459	0,858	0,791	0,166	0,209

Calculating the values of the accuracy rate and the Kappa Index applying the selection of variables considered relevant during the recuperation results in a much better result Table 9, rising from 90.12% to 92.59% accuracy.

Table 9. Area under the ROC curve

Classifier	Accuracy	Percentage	Kappa
MultilayerPerceptron	74	0,913580247	0.7548638
MultiClassClassifier	75	0,925925926	0.7857143
BayesNet	65	0,802469136	0.3513514
NaiveBayes	72	0,888888889	0.6720648
AdaBoostM1	67	0,827160494	0.4568966
Bagging	64	0,790123457	0.2949309
DecisionStump	54	0,666666667	-0.173913
J48	58	0,716049383	0.1265823
IBk	63	0,777777778	0.3816794
JRip	63	0,777777778	0.3305785
LMT	68	0,839506173	0.4845815
Logistic	75	0,925925926	0.7857143
LogitBoost	70	0,864197531	0.5991903
OneR	68	0,839506173	0.4608295
SMO	70	0,864197531	0.5217391

Analyzed the new value of the area under the ROC curve, we obtained the Figure 10 and Table 10. In this case, the MultilayerPerceptron is the classifier which provides the best results, obtaining an AUC of 0.9257672 as opposed to the maximum 0.8928571 obtained prior to applying the filter. However, as indicated in table 10 the AUC did not increase in all cases.

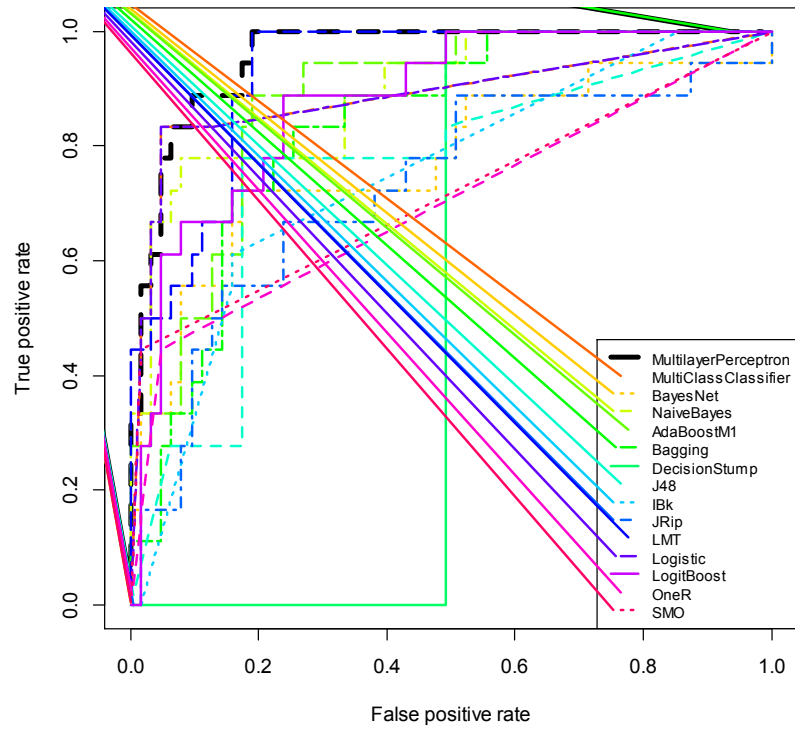


Figure 3. ROC curves based on probabilities.

Table 10. Area under the ROC curve based on probabilities.

Classifier	ROC curve area
MultilayerPerceptron	0.957672
MultiClassClassifier	0.888448
BayesNet	0.7742504
NaiveBayes	0.8932981
AdaBoostM1	0.8783069
Bagging	0.8333333
DecisionStump	0.5079365
J48	0.7522046
IBk	0.7451499
JRip	0.7257496
LMT	0.9268078
Logistic	0.888448
LogitBoost	0.8783069
OneR	0.6984127
SMO	0.7142857

9.2 Results of statistical inferential analysis

There were 81 students evaluated in the 4th year of Dentistry, with an average age of 22.1 years (DE 3.1). Forty students (49.4%) were from the year 2011-2012 and 41 (50.6%) in year 2012-2013. Some 16% of the students had at least one family member as a dentist and 14.8% had prior experience in the procedure through other related education, such as dental hygienist and/or Dental Technologist (Table 11).

Table 11. Description of the 81 students.

		Nº cases	%
Year	2011-12	40	49,4
	2012-13	41	50,6
Age (years)*		22,1	3,1
Family dentists	No	68	84,0
	Yes	13	16,0
Prior experience	No	69	85,2
	Yes	12	14,8

*Data expressed as average (Standard deviation)

The patients treated during the evaluation, 53 (65.4%) were women and 28 (34.6%) were men, ranging in age from 26 to 77. The average age of the patients was 55.5 (DE 13.6) and all met the previously established criteria for participation.

Analysis of variable dependency.

Table 12 provided the results of the variable dependency analysis of the student and patient factor associated with the probability of restoration failure by year performed by 4th year Dentistry students. Comparative data for the years 2011-2012 and 2012-2013 do not reveal any significant differences although there is a relative reduction in the risk of failure of 46% (OR 0.54; IC95% 0.19-1.58). The student variables analysed revealed no significant results.

Table 12. Description of the student and patient factors associated with the probability of failure in restoration by year performed by 4th year Dentistry students (n=81).

		N° cases	Incidence (%)	OR	IC95%		p
Student							
Year	2011-12	11	27,5	Reference			
	2012-13	7	17,1	0,54	0,19	1,58	0,259
Aged (years)	21	11	19,3	Reference			0,551
	22	4	33,3	2,09	0,53	8,22	
	23	3	25,0	1,39	0,32	6,02	
Family dentists	No	14	20,6	Reference			
	Yes	4	30,8	1,71	0,46	6,39	0,419
Prior experience	No	15	21,7	Reference			
	Yes	3	25,0	1,20	0,29	5,00	0,802

Patient							
		N° cases	Incidence (%)	OR	IC95%		p
Sex	Woman	14	26,4	2,15	0,63	0,07	0,212
	Man	4	14,3	Reference			
Age (years)	< 50	4	15,4	Reference			0,230
	50-65	10	32,3	2,62	0,71	9,65	
	> 65	4	16,7	1,10	0,24	4,99	
Dental piece	14	1	50,0				0,136
	15	0	0,0				
	16	4	30,8				
	17	0	0,0				
	18	0	0,0				
	24	1	50,0				
	25	0	0,0				
	26	2	22,2				
	27	0	0,0				
	34	0	0,0				
	35	1	16,7				
	36	2	20,0				
	37	2	40,0				
	44	0	0,0				
	45	0	0,0				
	46	2	40,0				
	47	3	100,0				
Piece – sectors	1	5	20,8	Reference			0,450
	2	3	15,0	Reference			
	3	5	20,8	Reference			
	4	5	38,5	2,64	0,74	9,42	
Brushing habits	0-1	11	52,4	8,33	2,60	26,67	<0,001
	2	7	15,9	Reference			

No difference was observed in the variables of the anaesthesia phase. However, there were differences detected in the isolation phase, contamination with saliva, change of dam and incident, associated variables since in the event

of an incident the student always changed the rubber dam. These variables are significantly associated with an increase in the probability of failure by year, reaching a 70% failure probability rate in patients with incidents during the procedure (Table 13).

Table 13. Description of factors in the anaesthesia and isolation phase associated with the probability of failure by year of the procedure performed by 4th year Dentistry students (n=81).

		Restoration failure				p
		No		Yes		
		Nº cases	%	Nº cases	%	
Anaesthesia phase						
Type of anaesthesia	Articaina	1	100,0	0	0,0	0,625
	Lidocain	46	75,4	15	24,6	
	Mepivacain	16	84,2	3	15,8	
Technique employed	Infiltrative	41	78,8	11	21,2	0,757
	Troncular	22	75,9	7	24,1	
Attempts employed	1	43	81,1	10	18,9	0,577
	2	16	72,7	6	27,3	
	3	4	66,7	2	33,3	
Number of carpules	1	42	76,4	13	23,6	0,656
	2	21	80,8	5	19,2	
Assistance of professor	No	28	73,7	10	26,3	0,405
	Yes	35	81,4	8	18,6	
Isolation phase						
Type of isolation	Cotton	5	71,4	2	28,6	0,672
	Dam	58	78,4	16	21,6	
Pieces isolated	2	1	100,0	0	0,0	0,123
	3	12	100,0	0	0,0	
	4	5	50,0	5	50,0	
	5	16	72,7	6	27,3	
	6	16	80,0	4	20,0	
	7	13	81,3	3	18,8	
Assistance of professor	No	38	74,5	13	25,5	0,356
	Yes	25	83,3	5	16,7	
Contamination with saliva	No	56	84,8	10	15,2	0,001
	Yes	7	46,7	8	53,3	
Contamination with blood	No	57	80,3	14	19,7	0,149
	Yes	6	60,0	4	40,0	
Change of dam	No	60	84,5	11	15,5	0,000
	Yes	3	30,0	7	70,0	
Incidents	No	60	84,5	11	15,5	0,000
	Yes	3	30,0	7	70,0	

The cavity preparation phase presents variables related to restoration failure (Table 14). Not using the caries detector ($p=0,003$) is associated with failure. In the two cases in which there was not a total elimination of the caries, both cases failed ($p=0,007$). In relation to the degree of difficulty, the procedures with the highest difficulty had a failure rate of 38.5%, as opposed to a 13.0% rate for low difficulty procedures ($p=0,052$).

Table 14. Description of factors in the cavity preparation phase associated with the probability of failure by year of the procedure performed by 4th year Dentistry students (n=81).

		Restoration failure				
		No		Si		
		N° of cases	%	N° of cases	%	p
Depth of lesion	Very deep	20	66,7	10	33,3	0,157
	Not deep	41	83,7	8	16,3	
	Deep	2	100,0	0	0,0	
Use of counter-angle	No	18	75,0	6	25,0	0,696
	Yes	45	78,9	12	21,1	
Use of spoon	No	29	82,9	6	17,1	0,540
	Yes	34	77,3	10	22,7	
Use of caries detector	No	18	60,0	12	40,0	0,003
	Yes	45	88,2	6	11,8	
Assistance of professor 3	No	28	68,3	13	31,7	0,038
	Yes	35	87,5	5	12,5	
Number of sides affected	2	28	90,3	3	9,7	0,074
	3	13	76,5	4	23,5	
	4	22	66,7	11	33,3	
Total elimination of caries	No	0	0,0	2	100,0	0,007
	Yes	63	79,7	16	20,3	
Elimination of enamel	Partial	6	50,0	6	50,0	0,412
	Total	57	82,6	12	17,4	
Degree of difficulty	Alta	16	61,5	10	38,5	0,052
	Baja	20	87,0	3	13,0	
	Media	27	84,4	5	15,6	

Occlusion adjustment is one of the most significant factors in the obturation phase for the failure of the procedure ($p= 0,047$) (Table 15).

Table 15. Description of factors in the obturation phase associated with the probability of failure by year of the procedure performed by 4th year Dentistry students ($n=81$).

		Restoration failure				
		No		Yes		
		N° cases	%	N° cases	%	p
Use of cavity base	No	49	75,4	16	24,6	0,126
	Yes	14	93,3	1	6,7	
Use of matrix	No	26	78,8	7	21,2	0,856
	Yes	37	77,1	11	22,9	
Use of wedge	No	28	77,8	8	22,2	1,000
	Yes	35	77,8	10	22,2	
Evaluation of brace	Good	47	87,0	7	13,0	0,204
	Bad	1	25,0	3	75,0	
	Regular	15	65,2	8	34,8	
Number of layers	2	15	78,9	4	21,1	0,079
	3	10	90,9	1	9,1	
	4	14	93,3	1	6,7	
	5	17	60,7	11	39,3	
	6	7	87,5	1	12,5	
Obturation	Under-obtured	18	72,0	7	28,0	0,403
	Overobtured	45	80,4	11	19,6	
Anatomical shaping	No	7	87,5	1	12,5	0,486
	Yes	56	76,7	17	23,3	
Use of turbine 2	No	6	85,7	1	14,3	0,597

Use of counter-angle 2	Yes	57	77,0	17	23,0	
	No	9	81,8	2	18,2	0,729
Polishing of restoration	Yes	54	77,1	16	22,9	
	No	2	40,0	3	60,0	0,236
Adjustment of occlusion	Yes	61	80,3	15	19,7	
	No	4	50,0	4	50,0	0,047
Assistance of professor 4	Yes	59	80,8	14	19,2	
	No	28	68,3	13	31,7	0,138
Motivation of patient for hygiene	Yes	35	87,5	5	12,5	
	No	2	50,0	2	50,0	0,171
	Yes	61	79,2	16	20,8	

Figure 4 illustrates the relative incidence of failure in the restoration of composites in the posterior region by the year of the procedure. The global probability of failure was 22.2% (IC95% 12.6-31.9). The etiology of the failures identified in this study were due, in 18.5% of cases (IC95% 9,4-27,6), to filtration of the obturation and in 3.7% of cases (IC95% 0,8-10,4) fractured the resin.

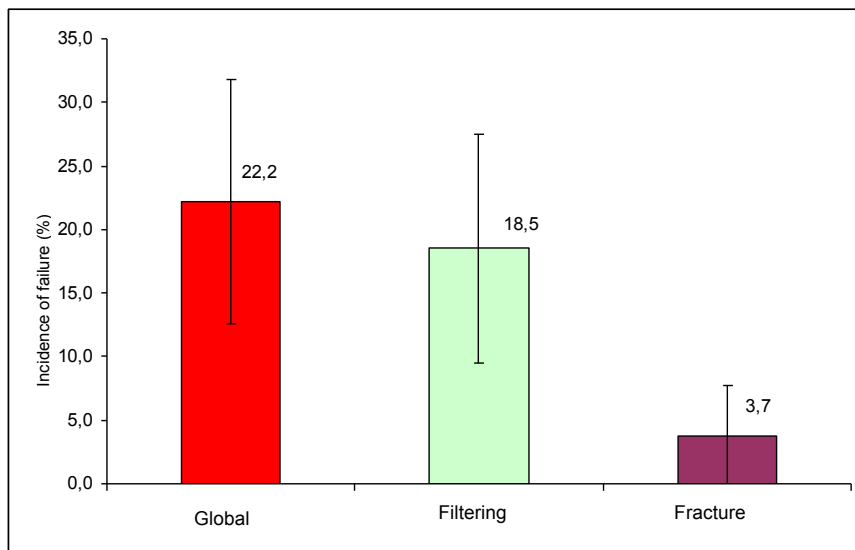


Figure 4. Relative incidence of failure per year of the treatment performed by 4th year Dentistry students (n=81).

Four students who scored below 5 in phase 1 there were three failures, with an incidence of 75% compared to the students who passed this phase with a failure rate of 19.5% ($p=0,033$). One student scored below 5 in phase 2, and the treatment failed within 12 months, with an incidence of 100% compared to the students who passed this phase with a failure rate of 21.3% ($p=0,222$). All students passed phase 3. Of the two students who scored below 5 in phase 4, both failed in the treatment with an incidence of 100% compared to the students who passed this phase with a failure rate of 20.3% ($p=0,047$). Figure 5 represents the marks obtained globally and in each phase of the procedure. Note that for students who obtained scores higher than 6 in specific phases or a 6.5 as a global mark, the possibility of failure is very low ($p=0,040$).

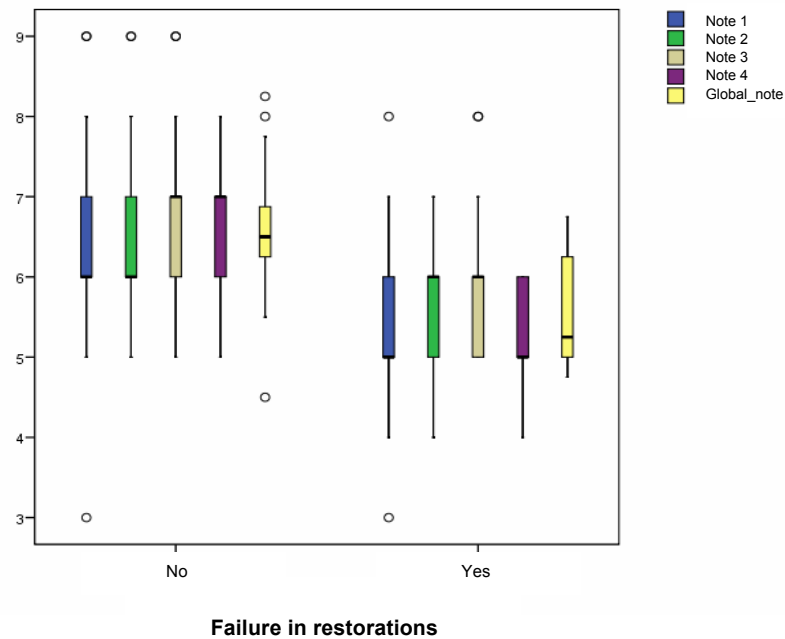


Figure 5. Distribution of the frequency of scores obtained globally and in each phase of the treatment, according to failure or success of the procedure performed by 4th year Dentistry students (n=81).

The most predictive mark was in the obturation phase, with an area below the curve of 0.87 (IC95% 0.78-0.95) (Figure 6 and table 6).

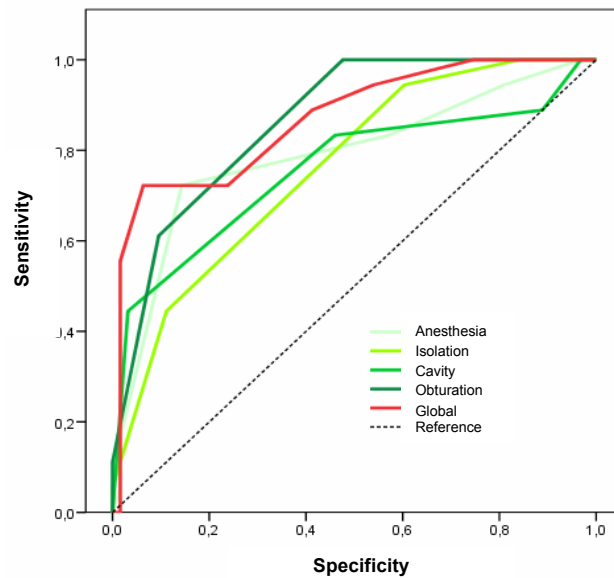


Figure 6. Receiver Operating Characteristic (ROC curve) of the scores obtained globally and in each phase of the treatment which explain failure or success of the procedure performed by 4th year Dentistry students (n=81).

Table 16. ROC curves based on probabilities.

	Area under the ROC curve	EE	p	IC95% AUC	
NOTE 1	0,79	0,07	0,000	0,65	0,92
NOTE 2	0,76	0,06	0,001	0,64	0,88
NOTE 3	0,76	0,08	0,001	0,61	0,90
NOTE 4	0,87	0,04	0,000	0,78	0,95
Global Note	0,87	0,05	0,000	0,77	0,97

Multivariate analysis.

Table 25 shows the multivariable models adjusted to explain the factors, which predict failure of the procedure performed by 4th year Dentistry students. The variables were selected based on the univariant analysis and a stratified analysis in order to detect interactions between the independently analysed variables.

The independent factors associated with failure were variables associated with the patient, brushing habits ($p=0,003$) and age ($0,089$), and variables related to the procedure, especially the isolation phase and saliva contamination ($p=0,022$), the cavity preparation phase, the use of a caries detector ($p=0,041$) and the number of affected sides ($p=0,048$) and the obturation phase, number of layers ($p=0,079$) and the adjustment of occlusion ($p=0,043$).

Table 25. Statistical regression model for independent factors associated with the probability of by year performed by 4th year Dentistry students ($n=81$).

	Coefficient (beta)	EE	P	Odds ratio	IC 95% OR	
Complete model						
Brushing habits (times/day) <2 vs. =>2	2,777	1,048	0,008	16,08	2,06	125,42
Age (years)			0,238			
< 50				1		
50-65	-0,627	1,760	0,722	0,53	0,02	16,84
> 65	1,621	1,366	0,235	5,06	0,35	73,55
Contamination with saliva	2,519	1,771	0,155	12,41	0,39	399,55
Change of dam	0,458	1,904	0,810	1,58	0,04	66,00
Use of caries detector	2,035	1,047	0,052	5,45	078	57,57
Assistance of professor 3	1,245	0,985	0,206	3,47	0,50	23,94
Number of affected sides			0,609			
2				1		
3	-0,569	1,362	0,116	0,57	0,04	8,18

4	1,157	1,661	0,048	3,18	0,12	82,56
Degree of difficulty			0,416			
High	1,367	1,033	0,186	3,92	0,52	29,70
Medium	0,958	1,487	0,519	2,61	0,14	48,03
Low				1		
N° of layers (3 or more)	2,543	2,098	0,226	12,72	0,21	777,22
Adjustment of occlusion	2,468	1,815	0,174	11,80	0,34	413,35
Assistance of professor 4	1,125	1,027	0,274	3,08	0,41	23,06
Constant coefficient	-9,851	4,754	0,038			

Final model

Brush habits (times/day) 2 or more vs. <2	2,598	0,860	0,003	13,44	2,49	72,50
Age (years)						
< 50			0,118	1		
50-65	0,481	1,185	0,685	1,62	0,16	16,50
> 65	2,081	1,222	0,089	8,01	0,73	87,89
Contamination with saliva	2,519	1,771	0,022	12,41	0,39	399,55
Number of side affected			0,609			
3	-0,569	1,362	0,116	0,57	0,04	8,18
4	1,157	1,661	0,048	3,18	0,12	82,56
Use of caries detector	2,0134	1,147	0,052	7,65	0,98	59,63
N° of layers (3 or more)	1,825	1,139	0,079	6,20	0,67	57,80
Adjustment of occlusion	2,376	1,173	0,043	10,77	1,08	107,27
Constant coefficient	-6,654	2,144	0,002			

The adjusted model presents an area below the ROC curve of 0,898 (IC95% 0,831-0,965), which reflects excellent discrimination from the selected variables in relation to the probability of failure of the procedure (Figure 18). The sensitivity rate was 94.4%, that is, of 100 failures in the procedure, these variables detected correctly 94 of these. The specificity rate was 76.2%, that is, of 100 cures the model classified 76 of them correctly.

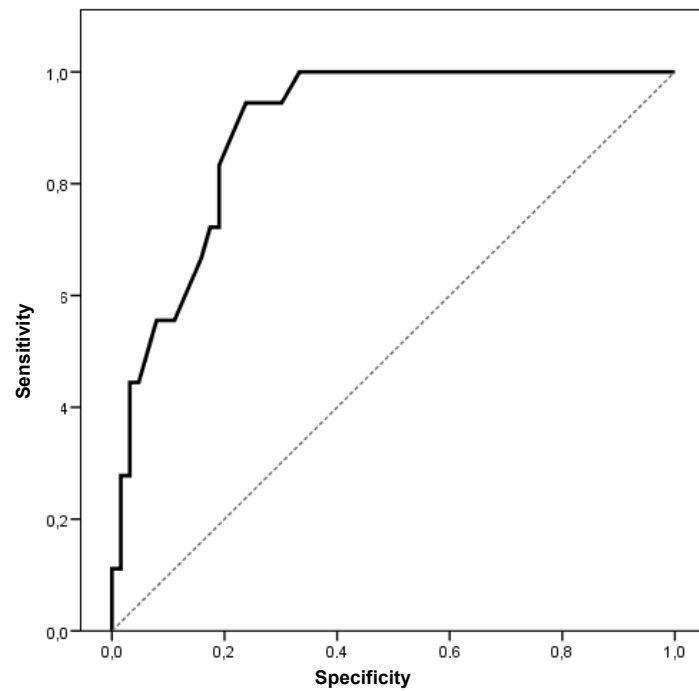


Figure 8. ROC curve of the regression model adjusted to explain the failure of the procedure performed by 4th year Dentistry students (n=81).

Table 16. ROC curves based on probabilities.

Area the ROC	EE	P	IC95% AUC	
0,898	0,034	0,000	0,831	0,965

DISCUSSION



10 DISCUSSION

Composite resin is the material universally used in dental restoration in the posterior teeth due to its physical, mechanical and aesthetic properties; Amalgam has been displaced throughout the world largely for aesthetic reasons [1, 13, 14, 103-105].

The failure of obturations in the posterior region for composite resin is much higher than amalgam, requiring a significant number of retreatments [10, 14, 68, 106]. This is due to the characteristics of the material itself (to be addressed by industry) or factors associated with the techniques used in treatment [15, 22, 24, 69, 109].

Students of 4th year of Dentistry employ a great deal of time in daily clinical practices performing restorations using composite resin in the posterior region. The failure of the obturation and the need for retreatment can lead to an increase in the size of the cavity and, finally, the destruction of the tooth [1-3, 20, 106-110].

In Europe, recent studies indicate the predominant use of composite resins in the posterior region and negligible use of amalgam [14, 15, 24, 27, 30].

We proposed to conduct a study of the prediction of failure in resin obturations in the posterior region and identify the most important factors. This information will allow clinics to use this technique more effectively and achieve higher rates of success in treatments [33, 34, 63, 68,76].

The application of CBR to the field of biomedicine is a relatively new field which has been applied to a great variety of medical problems: health centres as a control method, for hyperthyroidism, haemodialysis patients or diabetics, as a method of diagnosis of patient stress levels, and as a predictive method for the evolution of cancers and leukaemia. Dentistry is a new area of application. CBR develops predictive reasoning models, applicable to the failure of

restorations of the posterior teeth and to identify contributing factors and causes [34, 47, 48, 50].

Additionally, we have used inferential statistics to complement and validate the results obtained through CBR in order to identify the factors which contribute to restoration failure and their causes. This will allow the development of a predictive model making use of logistic regression to predict failure [1, 63, 64].

The longevity and failure of Composite Resins has been the subject of extensive research, through long-term studies with large sample populations [3,27,104,108,111]. However, there are few works, which evaluate the state of restoration by year [12] and performed on patients treated by students supervised, evaluated and monitored by a professor-evaluator [29, 69, 73, 112].

In the analysis of the **variables associated with failure** we studied the patient variables and variables associated with the treatment. Following this order, we will discuss the results.

With reference to our results, the patient variables, **age and brushing habits** are associated with the failure of composite resin restoration. These results coincide with earlier studies by Mjor et al. [113] and subsequent studies by Qvist et al. [114]

The results of our analysis show that for patients of an advanced age with poor brushing habits the probability of failure rises up to 63% in patients over 65 years of age who brush less than twice per day.

Various studies conducted by Makhija et al. [73] concluded that the key patient factors correlated to restoration failure are: age, sex, risk of caries and parafunctional habits. In our study, the rate of failure for the variable referring to brushing habits increased 8.33 times in those patients who did not brush or brushed only once a day as opposed to those brushing at least twice.

The variable, **age of the patient**, was observed to be an important factor and have significant influence in the longevity of the restoration, although there is a degree of controversy in this regard. According to a study by Burke et al. of older patients, patients over 65 years of age have a much lower rate of survival of composite resin restorations in the posterior region than younger patients. These results coincide with our findings; gender, however, appears to have very little importance as a factor in the long-term success of restorations [31, 67, 69]

However, there are studies, which have found that the risk of failure of composite restorations decreased as the age of the patient increased, and that caries have a greater incidence in adolescents than in adults [42, 73, 75]

Referring to the variable, **brushing habits**, 24.7% of patients brush once a day and 1.2% of patients never brush. When patients brush less than twice a day there is a direct relation to restoration failure. Despite the information available in the media about tooth decay and oral hygiene, there is still people who do not take care of their teeth. According to the sample, 1.2% of the population never brush [32, 67, 76, 116, 135-138].

The study “Salud bucodental en los mayores” conducted by the Institute of Public Health of the Ministry of Health found that some 52.8% of retired people never brush their teeth, 25.9% brush only once and 21.2% brush two or more times a day [136, 165].

The results analysis of the variables associated with the treatment was divided into four clinical phases: *anaesthesia phase*, *isolation phase*, *cavity preparation phase*, and the *obturation phase*. Each phase was evaluated individually by the examiner-professor. The results will be discussed in this order.

No differences were observed among the variables for restoration failure in the *anaesthesia phase* [4, 11, 76, 103-105, 109].

During the *isolation phase*, saliva contamination, changing the dam or an incident [4, 29, 69, 112, 114] during the procedure accounts for a significant increase in the probability of restoration failure, reaching a 70% failure probability rate for patients who experienced an incident during the procedure.

The variable **incidents** in the isolation phase, for example, perforation of the rubber dam and **saliva contamination**, is statistically significant. Saliva contamination (18.5%) supposed that ten students changed the dam during this phase, coinciding with the studies conducted by Mjor et al. [34] where the use of a rubber dam or other isolation method was determined to be a factor in the risk of restoration failure due to contamination of the operating area, causing difficulties for the adhesion phase [1, 4, 5, 11, 18, 28].

The isolation method of choice in our study was the rubber dam, 91.4% of cases. The use of absolute isolation in the operating area with a rubber dam improves the quality of the treatment, the comfort and protection of the operator and the patient [1, 3, 14, 67, 103].

The longevity of dental restorations, as indicated above, depends on a number of factors, related to both the patient [1, 8, 10, 31, 73] and with the student [29, 67, 69, 73, 112]. However, as observed in the results of studies by Opdam et al. the constant use of a rubber dam to isolate the operating area is associated with high rates of restoration success, with composite resin restorations surviving 5 years after treatment [112].

In the *cavity preparation phase*, the competencies to be acquired by the student of PTD II are related to handling caries, eliminating diseased tissue and being as conservative as possible in preserving the greatest amount of dental tissue possible [15, 66, 118, 119, 120], thus reducing the weakening of the tooth structure, conserving pulp vitality and avoiding unnecessary restorations [127, 128]. During cavity preparation, only the external infected dentine is eliminated, while the demineralised dentine, affected but not infected, should not be removed [10, 18, 30, 121]. A caries detector is used as a complementary

method of detecting caries in the cavity preparation phase, but this is not the only guide [15, 123, 124, 125, 126]. Generally, visual and tactile criteria are used to determine if a cavity preparation is free of caries [128, 129]. While some studies indicate that these procedures are fairly precise and effective Ismail et al. other studies show a high rate of diagnostic error by students, from 54% to 78.4%, depending on the authors [123, 124, 125].

For the variables in the *cavity preparation phase* of the treatment made by the students of PTD II, we find that 63.0% of students used a caries detector to better identify the lesion. The remaining 37.0% did not use a caries detector.

In analysing the importance of the use of a **caries detector**, it was established that this is an essential variable in predicting obturation failure, due to precipitation and inadequate praxis in this clinical phase. Previous studies by Pratp Singh, U. et al. and Unlu, N. et al. show that caries detectors help the clinician to distinguish between the two types of dentine, avoiding the elimination of healthy tissue and identifying infected dentine that could cause further lesions in the future [1, 128, 129]. These dye-substances proposed by Fusayama 2010 et al, consist of a basic Fuchsine base at 0.5% in propylene-glycol and subsequently substituted by acid at 1% in propylene-glycol [130]. The method of use is very fast and simple. The cavity should be cleaned and dried, the detector is applied and left to act for ten seconds, according to the manufacturer's instructions. It is washed and dried and the coloration of the lesion reveals the diseased tissue [126, 127, 128, 129, 130].

An analysis of the variable **number of affected sides** also proved to be a significant variable in the failure of composite restorations. The results of the study show that the most common number of affected sides is 2, followed by 4. The risk of failure for cavities affecting four sides was 33.3 %, for 3 sides, 23.5%, and for two sides, 9,7%· Our research findings coincided with studies conducted by Bernardo et al. and Soncini et al. showed a higher rate of failure for large cavities in comparison with smaller cavities. Large restorations, those with three sides or more to be restored show average annual failure rates of

4.15 to 9.43% [131, 132, 133, 134]. Our study revealed a direct relation between the number of affected sides and **cavity size**, thus, demonstrating that large cavities have a much lower survival rate than smaller cavities.

Opdam et al. also established that larger restorations have a poorer performance regardless of the materials used. The annual average failure rates for both amalgam and composites increased with an increase in the cavity size and number of sides affected. This increase was more pronounced in restorations with composite [68].

Among the aspects considered in the obturation phase of the cavity during initial treatment by 4th year Dentistry students, was the type of adhesive. In all cases a self-etching bonding system was used.

The variable associated with the failure of restoration during the obturation phase, was the **number of layers**. We find that for obturations with 2 layers the failure rate is 21.1 %. The methodology of choice employed was an incremental technique to obturate cavities in the posterior region.

A study by Kormaz et al. conducted obturations of molars using composite resin and base fluid and others only with composite resin. The conclusion was that the use of fluid resin in the cavity results in less microfiltration [139, 140].

Regarding the variable **adjustment of occlusion**, a 50% failure rate in restorations was detected when occlusion is not adjusted (9.9% of the cases) and a 19.2% failure rate when occlusion is adjusted (90.1%).

Celar AG et al. consider dental occlusion one of the most important factors to adjust after modifying the dental anatomy and the maintenance of the form-function balance is important for the stability of the masticatory system, obtaining a 5% failure rate due to fractures when not adjusting occlusion correctly in the restorations using composite resin [141,142]. It was also determined that periodic control of occlusion is important after the restoration treatment to make minor adjustments [143]. In 2000, Mac Neill et al. concluded

research that determined composite resin restoration is almost certain to fail if the occlusion of the dental area treated is not adjusted appropriately [140].

The global probability of **failure** for restorations using composite performed by PTD II students, was **22.2%**. The causes of failure in this study were due to **filtration of the obturation** 18.5% and **fracture of the composite resin** 3,7%.

The results of our study differ significantly from studies by Opdam, N. et al. where the annual average failure rate was 2,8%, for the dental restorations performed in private practices [4].

In this aspect, the results of the present study were also compared to the results obtained in research by Mjor et al. These indicates a survival rate of 50% for restorations in composite resin performed in private practices after 8 years, with an annual failure rate of 6.3% [122].

In an analysis of variables related to student and patient, associated with the probability of failure of the restoration by year, performed by PTD II students, we find that the comparative date from the years 2011-2012 and 2012-2013 reveal no significant differences in terms of the risk of failure although there was a relative decrease of 46%. The variables for student do not have any significant results.

Opdam et al, observed that a relatively inexpert student of dentistry, will make the cavity following the same clinical protocol as an experienced dentist given that the treatment carried out by student-operator was under the supervision of a professor-evaluator which may have a positive effect on the restoration performed by the student. It is possible that the supervision guarantees and optimises those results of the restoration treatment [112].

Regarding the results of our research on etiology, we can state that **18.5% of the failures** identified in this study were the result of **filtration of the**

obturation, perhaps causing cavities. Various studies point to secondary caries as the main cause of restoration failure [1-5, 27, 32, 67- 70, 72].

A revision by Qvist et al. conducted on 2009 on the longevity of resin restorations in the posterior region, secondary caries are considered one of the principal reasons for failure [109]. Mjor et al. in another review coincided in establishing secondary caries as the main cause of dental restoration failure in general practice [122], representing up to 50% of all dental procedures in adults [24, 67, 68, 69.].

Donly et al. reported that failure was due to secondary caries and fractures in molar restorations [149]. However, Manhart et al. found significant differences between premolars and molars [5, 24, 29.].

We found no significant evidence of the location of secondary caries in our research.

Research into the longevity of composite resin by Van Dijken et al. showed the relation between to failure factors for restorations identified in our study, and reached the conclusion that the principal cause of failure within a maximum of 5 years was fracture of the composite restoration while the principal cause of failure from 6 to 17 years was secondary caries [2, 10].

Research by Wang, S. et al. established that the use of composite resins in the posterior region is questionable given the fact that current materials do not have an anti-caries effect or a resistance to filtration. However, there is research being conducted into adhesives with anti-bacterial properties [150, 151].

Regarding the other cause of failure, we found that **3.7% of failures** in restorations using composite resin are due to **fracture of the restoration**. The fracture variable is also considered in a number of studies as one of the most frequent causes of composite failure. It may depend of the properties of the

material itself such as insufficient polymerisation of the composite resin or insufficient thickness [15, 22, 121, 139, 148].

The results of our study matched those by Henostroza et al. where the resistance to different forces applied to the material in the oral cavity is of critical importance and must be taken into account when evaluating the quality of the composite resin to be used in dental restorations in the posterior region. More clinical studies are required in this area [152]. There are differences between the fractures that occur clinically and those that occur as part of an In Vitro test. The forces created within the oral cavity during mastication vary in magnitude, speed and direction until failure [153, 154].

One problem associated with failure, without necessarily being a failure of the obturation, is post-operative sensitivity related to the methodology of the adhesion. The procedure was not performed correctly due to improper selection of materials and problems in technique [4, 5, 15, 25, 32].

In our study, the **predictive power** achieved by the **CBR was a 92.5%** accuracy rate while the predictive capacity of **Inferential statistics was 89.8%**. The comparison of the two methods offers similar conclusions as to the capacity of discrimination and prediction of failure for composite resin Restorations performed by Dentistry students. An analysis of results using bioinformatics, Case-based Reasoning and inferential statistics shows that both are useful tools in creating a predictive model allowing restoration failure to be predicted accurately. The use of Case Based Reasoning Systems is applicable to studies with small samples and a large number of variables to be studied, making analyses possible where inferential statistics have limitations (sample size and number of variables).

By comparing the results obtained through different Artificial Intelligence techniques on the relevance of variables with previously known information, the outcome of the treatment can be foreseen in 92.5% of cases.

The data obtained through CBR has been highly relevant. Different algorithms were applied during the reutilisation phase and in this case the classifier MultilayerPerceptron was the algorithm which produced the best results, obtaining an AUC of 0.9257672, indicating the ability of the Case-Based Reasoning System to predict accurately 92% of the time, compared to an AUC of 0.8928571, the maximum obtained before applying the filter. Van den Brade et al. applying the Bayes algorithm achieved 8% accuracy in their study on problems applied to the registry of patient data in medical histories. [46]

The model developed by **inferential statistics** not only improved the capacity of prediction obtained by Sarret et al. in 2007, but also provided a vision of the opportunities available for teachers in the evaluation of competencies of Dentistry students at the Complutense University of Madrid [66, 161, 162].

We find that the variable evaluation of student competencies in the subjects of Dental Pathology and Therapy II is associated with Restoration Failure. The evaluation of competencies is based on an evaluation of the knowledge and skills of the student. A study by Coppola et al. [158] revealed that inexperienced students degree students were more closely associated with certain types of restoration failure than more experienced students [112].

The study also evaluated the competencies acquired by students, identifying those not acquiring the competencies of the subjects of PTD II, related to manual dexterity and without the skills necessary to apply all the theoretical and practical knowledge on patients [15, 66, 119, 120, 161]. The study showed that students obtaining results over 6 in any of the treatment phases or 6.5 in the global evaluation had very low rates of failure ($p=0,040$). The most predictive competencies in each treatment phase performed by students of Dental Pathology and Therapy II was the cavity obturation phase with an area below the curve of 0,87 (Figure 7).

As in studies by Correa et al. the predictive model created by CBR is slightly better given that this type of tool allows a greater use of resources, knowledge and the development of skills and competencies to be acquired by students Dental Pathology and Therapy II. Furthermore, this tool is useful in accurately predicting the resin restoration failure, allowing the professor-evaluator to identify these students and establish a more appropriate methodology for the profile of the students and their rhythm of progress [66, 158, 159, 160].

The predictive model created by inferential statistics must be used with larger samples. This type of tool can predict resin restoration failure and can improve the teaching-learning process in these subjects [36, 63, 64, 65, 160].

The main problem identified has been the locating of a sample with all of the established inclusion variables, and thus, our study was reduced to 81 patients. annual revision was the inclusion criteria, which reduced our sample by 80 patients.

This study based on the treatment realized by students of Dentistry was carried out during clinical practice at the university, where time and cost may vary from that of testing performed in private dental clinics. These differences may affect the application of these results and result in a difference from results obtained for patients treated in private dental practices [21].

However, more cases are necessary to expand the problems and solutions introduced in the intelligent systems and thus enhance the predictive capacity of the CBR. Increasing the sample size may establish the true differences between the risk variables and the false failure values.

This study is a point of departure for more tightly focussed research in the future aimed at developing an appropriate methodology for students in improving the teaching of the practice of dentistry. Another aim is to optimise the results in private practice in dealing with the problem of failure of composite

resin restorations and develop techniques for predicting the success or failure of different dental treatments.

CONCLUSIONES



11 CONCLUSIONES

1. Las herramientas bioinformáticas, Sistemas de Razonamiento Basados en Casos (CBR) y el análisis estadístico inferencial, son útiles para la realización de un modelo predictivo para estimar la probabilidad de fracaso de las restauraciones realizadas por los estudiantes de PTD II.
2. La incidencia relativa de fracaso de las restauraciones de composite en el sector posterior al año del procedimiento fue del 22,2%, un 18,5% por filtración de la obturación y un 3,7% debido a fractura de la resina compuesta.
3. Las variables asociadas al fracaso de las restauraciones del sector posterior, aplicando técnicas de CBR y análisis estadístico inferencial, fueron:
 - a. Variables asociadas al paciente: los **hábitos de cepillado** y la **edad**.
 - b. Variables asociadas al procedimiento:
 - i. En la fase de aislamiento, **incidencia y contaminación con saliva**.
 - ii. En la fase de realización de la cavidad, **no uso de detector de caries, número de paredes afectadas y tamaño de la cavidad**.
 - iii. En la fase de obturación, **número de capas y ajuste de oclusión**.

4.- Las variables identificadas por el CBR y regresión logística asociadas al fracaso coinciden con estudios de diferente tamaño muestral, operador e investigaciones longitudinales de más años.

5.- El poder predictivo que alcanzó el CBR fue de 92.5% de tasa de acierto mientras que la capacidad de predicción mostrada por la estadística inferencial fue de 89,8%. Inicialmente, la comparación de ambos métodos extrajo similares conclusiones en la capacidad de discriminación y predicción del fracaso de las restauraciones, pero la modificación de la etapa de recuperación del sistema CBR mediante la selección de las variables relevantes (técnicas de minería de datos) mejoró la capacidad predictiva de determinados clasificadores (Sistema LMT), aumentando de esta manera el porcentaje de acierto y el área bajo la curva ROC.

6.- La metodología que usa el CBR en cuanto al tratamiento de la información en estudios con tamaños muestrales pequeños y con gran número de variables es más apropiada que la metodología usada por la estadística inferencial debido a que ésta presenta limitaciones.

7.- Existe una correlación estadística entre las evaluaciones realizadas por el profesor-evaluador de las fases del tratamiento y la nota global obtenida con el fracaso del procedimiento. En el caso de estudiantes que obtuvieron evaluaciones superiores a 6 en cualquiera de las fases del tratamiento ó 6,5 en la nota global, la posibilidad de fracaso fue muy reducida.

8.- La evaluación realizada en las fases del tratamiento nos permite predecir la gran mayoría de aquellas restauraciones que van a fracasar, identificando aquellos estudiantes que necesitan reforzar la metodología clínica de la asignatura de PTD II para poder así alcanzar la adquisición de las competencias específicas.

9.- La evaluación que resultó más predictiva fue la de la fase de obturación con un área bajo la curva de 0,87.

10.- Son necesarios nuevos estudios para proseguir con esta línea de trabajo, aumentando el tamaño muestral y el número de variables a estudiar para elevar la capacidad predictiva de las herramientas bioinformáticas utilizadas, CBR y estadística inferencial.

BIBLIOGRAFÍA



12 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ferracane J. Resin-based composite performance: Are there some things we can't predict?. *Journal of Dental Materials*. 2013; (29): p.51–58.
- [2] Pallesen U. Longevity of posterior resin composite restorations in permanent teeth in Public Dental Health Service. A prospective 8 years follow up. *J Dent*. 2013; (4): p.297–306.
- [3] Da Rosa Rodolpho PA, Donassollo TA, Cenci MS, Loguercio AD, Moraes RR, Bronkhorst EM, et al. 22-Year clinical evaluation of the performance of two posterior composites with different filler characteristics. *Dent Mater*. 2011; (27): p.955–63.
- [4] Opdam NJ, Bronkhorst EM, Roeters JM, Loomans BA. Longevity and reasons for failure of sandwich and total-etch posterior composite resin restorations. *J Adhes Dent*. 2007; (9): p.469–75.
- [5] Manhart J, Chen H, Hamm G, Hickel R. Buonocore Memorial Lecture. Review of the clinical survival of direct and indirect restorations in posterior teeth of the permanent dentition. *Oper Dent*. 2004; (29): p.481–508.
- [6] Sharif MO, Fedorowicz Z, Tickle M, Brunton PA. Repair or replacement of restorations: do we accept built in obsolescence or do we improve the evidence?. *British Dental Journal*. 2010; (209): p.171–4.
- [7] Burke FJ, Lucarotti PS, Holder RL. Outcome of direct restorations placed within the general dental services in England and Wales (Part 2): variation by patients' characteristics. *J Dent*. 2005; (33): p.817–26.
- [8] Lucarotti PS, Holder RL, Burke FJ. Outcome of direct restorations placed within the general dental services in England and Wales (Part 1):

variation by type of restoration and re-intervention. J Dent. 2005; (33): p.805–15.

- [9] Cetin AR, Unlu N. One-year clinical evaluation of direct nanofilled and indirect composite restorations in posterior teeth. Dent Mater J. 2009; (28): p.620–6.
- [10] Sunnegardh-Gronberg K, van Dijken JW, Funegard U, Lindberg A, Nilsson M. Selection of dental materials and longevity of replaced restorations in Public Dental Health clinics in northern Sweden. J Dent. 2009; (37): p.673–8.
- [11] Sharif, M. O. Replacement versus repair of defective restorations in adults: resin composite. Australian Dental Journal. 2010; 55(3): p.351–352.
- [12] Wilson MA, Cowan AJ, Randall RC, Crisp RJ, Wilson NH. A practice-based, randomized, controlled clinical trial of a new resin composite restorative: one-year results. Oper Dent. 2002; (27): p.423–9.
- [13] Cenci M, Demarco F, de Carvalho R. Class II composite resin restorations with two polymerization techniques: relationship between microtensile bond strength and marginal leakage. J Dent. 2005; (33): p.603–10.
- [14] Burke FJT. Amalgam to tooth-coloured materials – implications for clinical practice and dental education: governmental restrictions and amalgam-usage survey results. Journal of Dentistry. 2004; (32): p.343–50.
- [15] García Barbero, J. Patología y Terapéutica Dental. Operatoria Dental y Endodoncia. 2ª Edición. Editorial Elsevier.

- [16] Turkun LS. Two-year clinical evaluation of a packable resin-based composite. *Journal of American Dental Association*. 2003; 134(9): p.1205–12.
- [17] Cramer NB, Stansbury JW, Bowman CN. Recent advances and developments in composite dental restorative materials. *Journal of Dental Research*. 2011; 90(4): p.402–1
- [18] Pastila P, Lassila LV, Jokinen M, Vuorinen J, Vallittu PK, Mantyla T. Effect of short-term water storage on the elastic properties of some dental restorative materials-A resonant ultrasound spectroscopy study. *Dent Mater*. 2007; (27): p.878-884.
- [19] Van Dijken JW, Sunnegardh-Gronberg K. Fiber-reinforced packable resin composites in Class II cavities. *J Dent*. 2006; (34): p.763–9.
- [20] Cetin AR, Unlu N. One-year clinical evaluation of direct nanofilled and indirect composite restorations in posterior teeth. *Dent Mater J*. 2009; (28): p.620–6.
- [21] Pearson GJ, Longman CM. Water sorption and solubility of resin-based materials following inadequate polymerization by a visible-light curing system. *J Oral Rehabil*. 1989; (16): p.57-61.
- [22] D’Arcangelo, C., Zarow, M., De Angelis, F., Vadini, M., Paolantonio, M., Giannoni, M., & D’Amario, M.. Five-year retrospective clinical study of indirect composite restorations luted with a light-cured composite in posterior teeth. *Clinical oral investigations*. 2014; 18(2): p.615-624.
- [23] Hamburger JT, Opdam NJ, Bronkhorst EM, Kreulen CM, Roeters JJ, Huysmans MC. Clinical performance of direct composite restorations for treatment of severe tooth wear. *J Adhes Dent*. 2011; (13): p.585-593.

- [24] Hickel R, Manhart J, Garcia-Godoy F. Clinical results and new developments of direct posterior restorations. *American Journal of Dentistry*. 2000; 13(Spec No): p.41–54.
- [25] Schultz S, Rosentritt M, Behr M, Handel G. Mechanical properties and three-body wear of dental restoratives and their comparative flowable materials. *Quintessence Int*. 2010; (41): p.1–10.
- [26] Moraes RR, Ribeiro Ddos S, Klumb MM, Brandt WC, Correr-Sobrinho L, Bueno M. In vitro toothbrushing abrasion of dental resin composites: packable, microhybrid, nanohybrid and microfilled materials. *Braz Oral Res*. 2008; (22): p.112–8.
- [27] Carrilho MR. Clinical evaluation of posterior composite restorations: 6-year results. *American Journal of Dentistry*. 2001; 14(5): p.304–8.
- [28] Ferracane JL. Is the wear of dental composites still a clinical concern? Is there still a need for in vitro wear simulating devices? *Dent Mater*. 2006; (22): p. 689–92.
- [29] Manhart, J., Chen, H. Y., Mehl, A., & Hickel, R. Clinical study of indirect composite resin inlays in posterior stress-bearing preparations placed by dental students: results after 6 months and 1, 2, and 3 years. *Quintessence international*. 2010; (399).
- [30] Dietschi D. Optimising aesthetics and facilitating clinical application of free- hand bonding using the 'natural layering concept'. *Br Dent J*. 2008; (204): p.181-185.
- [31] Burke, F.J. et al. "Influence of patient factors on age of restorations at failure and reasons for their placement and replacement". *J Dent*. July. 2001; 29(5): p.317-24.
- [32] Mjor, I.A. "Placement and replacement of restorations". *Oper. Dent*. June. 1981; (6): p.49-54.

- [33] Glez-Pena, D., et al., geneCBR: a translational tool for multiple-microarray analysis and integrative information retrieval for aiding diagnosis in cancer research. *BMC Bioinformatics*. 2009; (10): p.187.
- [34] Corchado, J.M., et al., Model of experts for decision support in the diagnosis of leukemia patients. *Artif Intell Med*. 2009; 46(3): p.179-200.
- [35] Joyanes, L., et al., Knowledge Management. Salamanca: University of Paisley. 2001.
- [36] Shortliffe, E.H. and J.J. Cimino, Biomedical informatics: computer applications in health care and biomedicine. New York: Springer. 2006.
- [37] Tapia, J., Arquitectura Multiagente para Entornos de Inteligencia Ambiental. Universidad de Ciencias de Salamanca: Salamanca. 2009.
- [38] Watson, I. and F. Marir, Case-Based Reasoning: A Review. Cambridge University Press. *The Knowledge Engineering Review*. 1994; 9(3).
- [39] Kolodner, J., Maintaining organization in a dynamic long-term memory. *Cognitive Science*. 1983; (7): p.243-280.
- [40] Kolodner, J., Reconstructive memory a computer model. *Cognitive Science*. 1983; (7): p.281-328.
- [41] Corchado, J.M., et al., Intelligent Environment for Monitoring Alzheimer Patients. *Decision Support Systems*. 2007.
- [42] Corchado, J.M. and R. Laza, Constructing Deliberative Agents with Case-based Reasoning Technology. *Internacional Journal of Intelligent Systems*. 2003; 18(12): p.1227-1241.
- [43] Corchado, J.M., et al., Model of experts for decision support in the diagnosis of leukemia patients. *Artificial Intelligence in Medicine*. 2009; (46): p.21.

- [44] Corchado, M., et al., [The diagnostic spectrum in a series of 100 patients with hepatomegaly due to stasis]. *Aten Primaria*. 1989; 6(5): p.363-4.
- [45] Vera, V., A. Barbero, and E. García, A case-based Reasoning System for Monitoring the Longevity of Dental Restorations. *Computing and Information Systems Journal*. 2002; 9(2): p.14.
- [46] Van den Braden, M., et al., Integrating case-based reasoning with an electronic patient record system. *Artificial Intelligence in Medicine*. 2011; (51): p.117-123.
- [47] Armengol, E., Classification of melanomas in situ using knowledge discovery with explained case-based reasoning. *Artif Intell Med*. 2013; 51(2): p.93-105.
- [48] Kolodner, J., *Case-based Reasoning*, ed. M. Kaufmann. San Mateo. 1993.
- [49] Simpson, R.L., A computer model of case-based reasoning in problem solving: an investigation in the domain of dispute mediation. Technical Report GTI-ICS. 1985.
- [50] Editorial, G., Advances in Case-based reasoning in the health sciences. *Artif Intell Med*. 2011; (51): p.75-79.
- [51] Fraile, J.A., et al., Applying wearable solutions in dependent environments. *IEEE Trans Inf Technol Biomed*. 2012; 14(6): p.1459-67.
- [52] Bichindaritz, I. and S. Montani, Advances in case-based reasoning in the health sciences. *Artif Intell Med*. 2012; 51(2): p.75-9.
- [53] Aamodt, A. and E. Plaza, Case-Based Reasoning foundational issues. Methodological Variations and Systems Approaches. *Artificial Intelligence Communications*. 1994; 7(1): p.39-59.

- [54] Watson, I., Applying case-based Reasoning: Techniques for Enterprise System, ed. M. Kaufmann. 1997.
- [55] Lopez, B., et al., eXiT*CBR: A framework for case-based medical diagnosis development and experimentation. *Artif Intell Med.* 2011; 51(2): p.81-91.
- [56] Aha, D., D. Kibler, and M.D. Albert, Instance-based Learning Algorithms. *Machine Learning.* 1991; 6(1).
- [57] Allemange, D., Review of EWCBR-93. *Artificial Intelligence Communications.* 1993; 7(1).
- [58] Kristian, J., Hammond: Case-based Planning. Academic Press. 1989.
- [59] Hammond, K.J., Case-Based Planning. Academic Press. 1989.
- [60] Goodman, M., CBR in Battle Planning, in Proceedings of the DARPA Case-Based Reasoning Workshop, Hammond, Editor. Morgan Kaufmann Publisher: San Francisco. 1989.
- [61] Simodius, E., Using case-based reasoning for customer technical support. *IEEE Trans Inf Technol Biomed.* 1992; 7(5): p.7-13.
- [62] Veloso, M.M. and J. Carbonell, Derivational analogy in PRODIGY. *Machine Learning.* 1993; 10(3): p.249-278.
- [63] González-Block, M. Á., Mercado, F. J., Ochoa, H., Rivera, H., & Idrovo, Á. J. Utilización de la investigación por gestores de salud: desarrollo y validación de una herramienta de autodiagnóstico. *salud pública de México.* 2008; 50(6): p.490-497.
- [64] Fernandez, C. La estadística como una herramienta de apoyo y no como una herramienta de decisión. *Archivos españoles de urología.* 2003; 56(6): p.595-604.

- [65] Argimon JM. El intervalo de confianza: algo más que un valor de significación estadística. *Med Clin (Barc)*. 2002; 118 (10): p.382-384.
- [66] Libro Blanco, Título de Grado de Odontología. Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación.
- [67] Burke, F.J. et al. "Restoration longevity and analysis of reasons for the replacement of restorations provided by vocational dental practioners and trainers in the United Kingdom". *Quintenesence Int*. April. 1999; 30 (4): p.234-42.
- [68] Opdam NJ, Bronkhorst EM, Roeters JM, Loomans BA. A retrospective clinical study on longevity of posterior composite and amalgam restorations. *Dent Mater*. 2007; (23): p.2–8.
- [69] Burke, F.J. et al. "Restoration longevity and analysis of reasons for the replacement of restorations provided by vocational dental practioners and trainers in the United Kingdom". *Quintenesence Int*. April. 1999; 30 (4): p.234-42.
- [70] El-Mowafy OM, Lewis DW, Benmergui C, Levinton C. Meta- analysis on long-term clinical performance of posterior composite restorations. *Journal of Dentistry*. 1994; (22): p.33–43.
- [71] Ferreira Zandona A, Santiago E, Eckert GJ, Katz BP, Pereira de Oliveira S, Capin OR, et al. The natural history of dental caries lesions: a 4-year observational study. *Journal of Dental Research*. 2012; (91) issue 9: p.841–6.
- [72] da Rosa Rodolpho PA, Cenci MS, Donassollo TA, Loguercio AD, Demarco FF. A clinical evaluation of posterior composite restorations: 17-year findings. *J Dent*. 2006; (34): p.427–35.
- [73] Makhija SK, Gordan VV, Gilbert GH, Litaker MS, Rindal DB, Pihlstrom DJ, et al. Practitioner, patient and carious lesion characteristics

associated with type of restorative material: findings from The Dental Practice-Based Research Network. *Journal of the American Dental Association*. 2011; 142(6): p.622–32.

- [74] Bartlett D, Sundaram G. An up to 3-year randomized clinical study comparing indirect and direct resin composites used to restore worn posterior teeth. *Int J Prosthodont*. 2006; (19): p.613–7.
- [75] Forss H, Widström E. Reasons for restorative therapy and the longevity of restorations in adults. *Acta Odontologica Scandinavica*. 2004; (62): p.82–6.
- [76] Friedl K-H, Hiller K-A, Schmalz G. Placement and replacement of composite restorations in Germany. *Operative Dentistry*. 1995; (20): p.34–8.
- [77] Freeman, G.H. and Halton, J.H. (1951). Note on an exact treatment of contingency, goodness of fit and other problems of significance. *Biometrika*, 38, pp. p.141-149.
- [78] R. Schank, R. Abelson (Eds.), *Scripts, Plans, Goals and Understanding* Erlbaum, Hillsdale, NJ. 1977.
- [79] C.K. Riesbeck, R. Schank, *Inside Case-based Reasoning*, Erlbaum, Northvale, NJ. 1989.
- [80] P. Checkland, J. Scholes, *Soft Systems Methodology in Action*, Wiley, NY, 1990.
- [81] C.J. Price, I. Pegler, Deciding parameter values with case-based reasoning, in: I. Watson (Ed.), *Progress In Case-based Reasoning*, *Lecture Notes in Artificial Intelligence* 1020Springer, Berlin, 1995.

SUMMARY



13 SUMMARY

THE USE OF CASE-BASED REASONING SYSTEM AND INFERENTIAL STATISTICAL ANALYSIS IN THE PREDICTION OF RESIN RESTAURATIONS FAILURE IN THE POSTERIOR TEETH

Introduction

The failure of dental restorations is an important problem to be solved in private practice and in university teaching. Both, professionals and students of Dentistry must be conscious of the duration of the treatments, and the causes for the failure of composite resin restorations in the posterior teeth.

The failure occurs when a restoration reaches a level of degradation that threatens a proper functioning, whether for aesthetic or functional reasons, or due to its incapacity in preventing a new illness from occurring [31, 32]. Failure in the posterior teeth is manifested in secondary caries, fracture of the restoration material and dental hypersensitivity [68, 69].

Previous research has demonstrated that the treatment of failed restorations makes up 50 to 78% of the activity in private practice. This fact suggests an important failure in deontological restoration. In addition, another problem is that the re-treatment of the restoration will undoubtedly cause an increase in the size of the cavity [38], weakening the dental structure and spreading the damage. This could jeopardise the pulp tissue of the tooth, hence requiring a root canal treatment [67-69].

The longevity of composite resin restorations in the posterior teeth is influenced by various factors, such as the placement technique under the control of the dentist, which is fundamental for the general adaptation, retention and sealing of the material within the preparation. The composition of the material is another factor, as this allows them to have determined physical and

mechanical properties, such as, resistance to wear and the degree of the reaction to polymerization [15, 32, 67, 68, 69].

Given these facts it seems interesting to study and analyse the restorations of composite in the posterior teeth placed by dental students in the course of Dental Pathology and Therapy II (PTD II), in university dental practice, by means of the application of the artificial intelligence tool, Case-Based Reasoning System (CBR), and inferential statistics. This will permit us predict what variables influenced in the failure of the restoration, with the end result of correcting the defects of the cognitive knowledge and skills causing the failure of the restorations in the posterior teeth.

Hypothesis and objectives.

Null Hypothesis: There are no differences in the variables that predict by CBR and inferential statistics failures of composite restorations by students 4th year of the Degree of Dentistry.

Principal objectives:

- Establish the factors influencing the failure of composite resin restorations in posterior teeth placed by 4th year students of the Degree of Dentistry.
- Identify the types of causes of failure by applying techniques of Case Based Reasoning (CBR) and inferential statistical analysis.

Results and discussion

There were 81 students evaluated in the 4th year of Dentistry, with an average age of 22.1 years. Forty students (49.4%) were from the year 2011-2012 and 41 (50.6%) in year 2012-2013.

The selected cases had all the information necessary to complete the established variables. In this way, the largest numbers of variables were included able to influence the success or failure of the restoration treatment performed by the Dentistry students.

Based on the data described a study of the causes of success or failure were analysed, creating a prediction system on the treatments carried out on the patients.

The data was analysed by these two bioinformatic tools, and a prediction system was established in a progressive manner. The first stage was for the two methods a pre-processing of data consisting in the analysis of available data in order to an optimum final result. Subsequently, a comparison was made of the performance of the CBR based prediction system and inferential statistical analysis. Finally, the different methods techniques were analysed to differentiate the relevance of the false positives and false negatives.

The independent factors associated with failure were variables associated with the patient, brushing habits ($p=0,003$) and age ($0,089$), and variables related to the procedure, especially the isolation phase and saliva contamination ($p=0,022$), the cavity preparation phase, the use of a caries detector ($p=0,041$) and the number of affected sides ($p=0,048$) and the obturation phase, number of layers ($p=0,079$) and the adjustment of occlusion ($p=0,043$).

The global probability of failure for restorations using composite performed by PTD II students, was 22.2%. The causes of failure in this study were due to filtration of the obturation 18.5% and fracture of the composite resin 3,7%.

Regarding the results of our research on etiology, we can state that 18.5% of the failures identified in this study were the result of filtration of the obturation, perhaps causing cavities. Various studies point to secondary caries as the main cause of restoration failure.

In our study, the predictive power achieved by the CBR was a 92.5% accuracy rate while the predictive capacity of Inferential statistics was 89.8%. The comparison of the two methods offers similar conclusions as to the capacity of discrimination and prediction of failure for composite resin Restorations performed by Dentistry students. An analysis of results using bioinformatics, Case-based Reasoning and inferential statistics shows that both are useful tools in creating a predictive model allowing restoration failure to be predicted accurately. The use of Case Based Reasoning Systems is applicable to studies with small samples and a large number of variables to be studied, making analyses possible where inferential statistics have limitations (sample size and number of variables).

Conclusions

Bioinformatic tools, Case-Based Reasoning Systems (CBR) and inferential statistical analysis, are useful for the performance of a predictive model to estimate the probability of failure of resin restorations placed by students of PTD II. The relative incidence of failure of composite restorations in the year after the procedure was 22.2%, 18.5% because of filtration of the obturation and 3.7% due to fracture of the composite resin. The variables associated with failure of posterior restorations, applying CBR techniques and inferential statistical analysis were:

- Variables associated to patient: brushing habits and age.
- Variables associated with the procedure:
 - i. In the phase of isolation, incident and contamination with saliva.
 - ii. In the phase of cavity preparation, no caries detector use, number of affected walls and cavity size.
 - iii. In the obturation phase, number of layers and adjusting of occlusion.